

Aus dem Institut für Röntgendiagnostik  
der Medizinischen Fakultät Charité  
der Humboldt-Universität zu Berlin

DISSERTATION

# **Primäre bildgebende Diagnostik von polytraumatisierten Patienten mittels Spiralcomputertomographie**

Zur Erlangung des akademischen Grades  
doctor medicinae (Dr. med.)

Vorgelegt der Medizinischen Fakultät Charité  
der Humboldt-Universität zu Berlin

Von

Stefanie Siegmann

aus: Erfurt

Dekan: Prof. Dr. Joachim W. Dudenhausen

Gutachter:

1. PD Dr. med. S. Mutze
2. Prof. Dr. med. K.H. Hauenstein
3. Prof. Dr. med. N. Hosten

Datum der Einreichung: 18.01.2002

Datum der Promotion: 18.09.2002

## **Zusammenfassung**

Die Behandlung polytraumatisierter Patienten stellt in ihrer Komplexität hohe Anforderungen an die apparativen und personellen Voraussetzungen einer Klinik. Dies bedingt einen erheblichen Kostenaufwand sowohl für die primäre Diagnostik und Therapie als auch für die Rehabilitation.

Im Unfallkrankenhaus Berlin sieht der Algorithmus der Polytraumaversorgung nach klinischer Erstversorgung und sonographischer Untersuchung von Abdomen und Thorax die weitere primäre radiologische Diagnostik von Schädel, Halswirbelsäule, Thorax, Abdomen und Becken mittels Spiral-Computertomographie nach einem standardisiertem Untersuchungsprotokoll vor. Im Zeitraum von September 1997 bis Juli 1999 wurden 334 aufeinander folgende Patienten erfasst, bei denen unter dem Verdacht auf ein Polytrauma eine CT-Untersuchung im Rahmen des klinikinternen Algorithmus durchgeführt wurde. Unter Kenntnis aller Untersuchungsbefunde erfolgte die retrospektive Gruppenbildung mit Unterscheidung in polytraumatisierte (n=116) und nicht polytraumatisierte (n=220) Patienten. Der durchschnittliche ISS lag bei 32 (+/- 10) in der Gruppe der tatsächlich polytraumatisierten Patienten und bei 15 (+/- 9,4) in der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten. In der weiteren Auswertung wurden die in der primären CT-Untersuchung erhobenen Diagnosen anhand des klinischen Verlaufs, operativer und anderer therapeutischer Maßnahmen sowie der weiteren Bildgebung überprüft.

In der vorliegenden Untersuchung konnte gezeigt werden, dass die Spiral-Computertomographie in der Lage ist, das Verletzungsmuster eines polytraumatisierten Patienten, abgesehen von Extremitätenverletzungen, nahezu vollständig und mit großer Sicherheit zeiteffizient zu erfassen. Dabei konnte auf Grund der Verkürzung der Untersuchungszeit die Indikationsstellung auf Patienten mit kritischen Kreislaufsituationen ausgedehnt werden. Als strukturelle Voraussetzung muss jedoch die unmittelbare Nachbarschaft von Schockraum und CT-Untersuchungsraum sowie ein routiniertes Team gewährleistet sein. Insgesamt profitierten insbesondere die tatsächlich polytraumatisierten Patienten von der Durchführung des standardisierten Untersuchungsprotokolls bei der Aufdeckung von Verletzungen. Der große Anteil der nicht polytraumatisierten Patienten profitierte vorwiegend vom Verletzungsausschluss. Hier muss die Indikationsstellung überaus kritisch erfolgen.

## **Schlagworte:**

Polytrauma  
Computertomographie  
Polytraumamanagement  
Notfalldiagnostik

## Summary

The complex treatment of patients with multiple traumas requires a high standard of staff and equipment causing considerable expense at the point of primary diagnosis and treatment as well as at the rehabilitation stage. Conforming to a standardised examination routine, the algorithm of treating patients with multiple traumas at the Unfallkrankenhaus Berlin includes, after primary clinical treatment and ultrasound examination of abdomen and thorax, the further primary radiological diagnosis of the skull, the cervical spine, the thorax, the abdomen and the pelvis via spiral CT. Between September 1997 and July 1999 we registered 334 successive patients with suspected multiple traumas who underwent a CT examination according to our clinical algorithm. In the knowledge of all diagnoses the patients were subdivided into two groups: patients suffering from multiple traumas (n=116) and patients without multiple traumas (n=220). The average ISS was 32(+/- 10) for the group of patients actually suffering from multiple traumas and 15 (+/- 10) for the group of patients without multiple traumas. The diagnoses based on the primary CT examination were analysed in the light of the clinical course, surgical and other therapeutic measures as well as compared with other imaging methods (modalities). This study shows that, apart from injuries of the extremities, the spiral CT can reveal the injuries of a patient suffering from multiple traumas efficiently and quickly. Because of the shorter time needed for examination the diagnosis can be extended to patients with critical haemodynamical conditions. Yet it is important that the emergency room and CT examination rooms are in close vicinity and that the team of examiners is well trained. Especially patients with multiple traumas benefit from this standardised routine of examinations. The majority of patients without multiple traumas benefit from the exclusion of injuries. Here the medical indication has to be carefully considered.

## Keywords:

Multiple trauma  
Computed tomography  
Multiple trauma management  
Emergency radiology

## Abkürzungsverzeichnis

a.p.	anterior – posterior
AP	Anatomisches Prinzip
AIS	Abbreviated Injury Scale
ATLS	Advanced Trauma Life Support
ASCOT	A Severity Characterisation of Trauma
BWS	Brustwirbelsäule
cCT	cranielle Computertomographie
CT	Computertomographie
GCS	Glasgow Coma Scale
HWS	Halswirbelsäule
HR	high resolution
ISS	Injury Severity Score
i.v.	intravenös
KM	Kontrastmittel
LWS	Lendenwirbelsäule
MG	Mittelgesicht
MRT	Magnetresonanztomographie
OP	Operation
RTS	Revised Trauma Score
SHT	Schädel-Hirn-Trauma
TRISS	Trauma Injury Severity Score
V.	Vena
V.mes.sup.	Vena mesenterica superior

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>8</b>
1.1	Begriffsdefinition .....	8
1.2	Epidemiologie .....	8
1.3	Algorithmus .....	10
1.4	Scoringsysteme .....	12
1.5	Bildgebende Diagnostik .....	14
1.5.1	Schädel-Hirn-Trauma.....	15
1.5.2	Gesichtsschädel.....	16
1.5.3	Thorax.....	16
1.5.4	Abdomen.....	19
1.5.5	Becken .....	21
1.5.6	Wirbelsäule .....	23
1.5.7	Extremitäten.....	25
1.6	Neue Ansätze in der Polytraumadiagnostik .....	25
1.7	Spiral-Computertomographie .....	27
<b>2</b>	<b>Patienten und Methoden .....</b>	<b>29</b>
2.1	Untersuchte Patienten und erfasste Daten .....	29
2.1.1	Anzahl.....	31
2.1.2	Alter der Patienten .....	31
2.1.3	Unfallmechanismus.....	31
2.1.4	Patientengruppen und Verletzungsschwere .....	32
2.2	Diagnostikkonzept.....	32
2.3	Statistik .....	36
<b>3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>37</b>
3.1	Polytraumatisierte Patienten .....	37
3.1.1	Schädel-Hirn-Trauma und Mittelgesichtsverletzung.....	37
3.1.2	Thorax.....	38
3.1.3	Abdomen.....	41
3.1.4	Becken.....	45
3.1.5	Wirbelsäule .....	47

3.1.5.1	Halswirbelsäule.....	47
3.1.5.2	Brustwirbelsäule.....	47
3.1.5.3	Lendenwirbelsäule .....	48
3.2	Nicht polytraumatisierte Patienten .....	50
3.2.1	Schädel-Hirn-Trauma und Mittelgesichtsverletzung.....	50
3.2.2	Thorax.....	50
3.2.3	Abdomen.....	51
3.2.4	Becken .....	51
3.2.5	Wirbelsäule .....	51
3.2.5.1	Halswirbelsäule.....	51
3.2.5.2	Brustwirbelsäule.....	52
3.2.5.3	Lendenwirbelsäule .....	52
3.3	Vergleich der beiden Gruppen .....	53
3.3.1	Schädel-Hirn-Trauma und Mittelgesichtsverletzungen.....	53
3.3.2	Thorax.....	54
3.3.3	Abdomen.....	55
3.3.4	Becken .....	57
3.3.5	Wirbelsäule .....	58
3.3.5.1	Halswirbelsäule.....	58
3.3.5.2	Brustwirbelsäule.....	58
3.3.5.3	Lendenwirbelsäule .....	58
3.4	Zeiterfassung .....	59
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>60</b>
4.1	Schädel-Hirn-Trauma und Mittelgesichtsverletzung.....	61
4.2	Thorax.....	62
4.3	Abdomen.....	66
4.4	Becken .....	71
4.5	Wirbelsäule .....	73
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>77</b>
<b>6</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>79</b>

# **1 Einleitung**

## **1.1 Begriffsdefinition**

Für den Begriff Polytrauma hat sich in den vergangenen Jahren die Definition nach Tscherne et al. (96) durchgesetzt. Hiernach werden als Polytrauma Verletzungen mehrerer Körperregionen oder Organsysteme bezeichnet, die gleichzeitig entstanden sind und die einzeln oder in ihrer Kombination lebensbedrohlich sind. Trentz (94) legt in seiner Definition noch mehr Gewicht auf die konsekutiven Funktionsstörungen. „Der Terminus Polytrauma bezeichnet ein Syndrom von Verletzungen mehrerer Körperregionen oder Organe mit konsekutiven Funktionsstörungen. Dabei sind die einzelnen Komponenten der Verletzungen und Funktionsstörungen in der Regel überlebbar, können jedoch in ihrer Kombination und Kumulation und, vor allem bei inadäquater Behandlung, tödlich enden.“ Wichtig ist bei beiden Definitionen, dass jede Verletzung für sich genommen nicht notwendigerweise lebensbedrohlich sein muss, dass aber die Gesamtheit der Verletzungen eine lebensbedrohliche Belastung für den Patienten darstellt.

Im Gegensatz zum Polytrauma bezeichnet der Begriff Barytrauma eine schwere Verletzung einer Körperregion, die für sich genommen lebensbedrohlich ist und Funktionsstörungen nicht traumatisierter Organe nach sich ziehen kann (72).

## **1.2 Epidemiologie**

In den epidemiologischen Studien zum Polytrauma zeigt sich mit 65% - 80% eine deutliche Dominanz der männlichen Unfallopfer (79, 86, 101). Während das mittlere Alter der erfassten polytraumatisierten Patienten in diesen Studien zwischen 31 und 36,5 Jahren liegt, findet sich in der Studie von Regel et al. der weitaus größte Anteil mit etwa 27% im Alterssegment zwischen 20 und 29 Jahren (79). Der Gesamtanteil der unter 40-jährigen Patienten beträgt etwa 50% - 55% (79, 101). In dieser Altersgruppe stellt das Trauma eine der häufigsten Todesursachen dar (80).

Ca. 83% - 89% der polytraumatisierten Patienten erleiden ihre Verletzungen im Straßenverkehr (79).

Für 1998 gibt das Statistische Bundesamt Wiesbaden die Zahl von 505 111 Verunglückten im Straßenverkehr an. Für das Jahr 1999 liegt diese Zahl bei 528 899



und für das Jahr 2000 bei 511 577. Im Jahr 2000 wurden 7 503 der verunfallten Personen getötet, 102 416 schwer und 401 658 leicht verletzt. Bei den im Straßenverkehr getöteten Personen standen die Pkw-Unfälle mit 59% an erster Stelle. 32% der Getöteten bei Pkw-Unfällen waren 18 bis unter 25 Jahre alt.

Regel et al. verzeichnen in ihrem Untersuchungszeitraum (1972-1991) eine zunehmende Anzahl der Unfälle mit motorisierten Zweirädern (von 9% auf 21%) und mit Fahrrädern (von 0% auf 15%) (79).

Bei den diversen Unfallmechanismen stehen unterschiedliche Verletzungsmuster im Vordergrund. So kommt es bei Pkw-Unfällen häufig zu Kombinationen von Thorax- und Abdomenverletzungen, oder von Thorax- und Abdomenverletzungen zusammen mit einem SHT. Bei Motorrad-Fahrern stehen dagegen Verletzungen der unteren Extremitäten im Vordergrund, die häufig mit Gefäßverletzungen in den entsprechenden Regionen einhergehen. Bei Sturzverletzungen aus großer Höhe sind häufig Wirbelkörperfrakturen insbesondere im Bereich des thorakolumbalen Übergangs zu verzeichnen (102).

Regel et al. ermittelten in ihrem Patientengut in 86% Verletzungen der Extremitäten und ein Schädel-Hirn-Trauma bei 69% der Patienten. Ein stumpfes Thoraxtrauma lag bei 62% und ein OP-pflichtiges, abdominelles Trauma bei 36% der Patienten vor. Beckenverletzungen mit 27% sowie Wirbelsäulenverletzungen mit 14% traten dagegen seltener auf (79).

Diese Daten verdeutlichen, dass sich die polytraumatisierten Patienten insbesondere durch eine hohe Aktivität und Mobilität im Berufsleben wie auch in der Freizeit auszeichnen. Die große Komplexität der Verletzungsmuster bei polytraumatisierten Patienten bedingt einen erheblichen medizinischen Aufwand sowohl in der Diagnostik als auch in der akuten Therapie und in der Nachbehandlung. Obertacke et al. (70) beziffern die Kosten für die intensivmedizinische Versorgung pro Tag und polytraumatisierten Patienten auf ca. 5000 DM. Laut Regel et al. (80) belaufen sich die Verletzungsfolgekosten der stationären Behandlung pro Patient auf bis zu 250000 DM und die Gesamtkosten eines polytraumatisierten Patienten auf teilweise über 1 Mio. DM. Nach Angaben von Regel et al. liegen die Kosten von Personenschäden nach Verkehrsunfällen bei etwa 23,1 Mrd. DM pro Jahr (80).

### 1.3 Algorithmus

Die Behandlung polytraumatisierter Patienten hat seit Anfang der 70er Jahre durch vielfältige Neuerungen in der Akutversorgung im präklinischen wie auch im klinischen Bereich eine stetige Verbesserung erfahren, wodurch die Letalität im Zeitraum von 1970 bis 1994 in den alten Bundesländern um ca. 50% gesenkt werden konnte (80). Maßgeblich sind hier die Schaffung eines flächendeckenden Rettungssystems, die Errichtung von Traumazentren sowie die Einführung standardisierter Algorithmen als Handlungsleitlinien der engen interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Unfallchirurgie, Anästhesie, Neurologie / Neurochirurgie und Radiologie (27, 79, 80, 85, 86).

Die klinische Versorgung polytraumatisierter Patienten stellt in ihrer Komplexität hohe Anforderungen an die apparativen und personellen Voraussetzungen einer Klinik. Innerhalb kurzer Zeit muss sowohl die klinische Erstversorgung des Patienten als auch die möglichst vollständige Erfassung der Verletzungen durch die bildgebende Diagnostik erfolgen, um erforderliche Therapiemaßnahmen prioritätenorientiert in die Wege leiten zu können. Zur Strukturierung dieser Abläufe wurden so genannte Algorithmen entwickelt (66, 86, 99).

Mit dem Begriff Algorithmus wird im Allgemeinen eine formalisierte Folge von festgelegten Anweisungen zur Lösung eines komplexen Problems in endlich vielen Verarbeitungsschritten beschrieben (36).

Klinische Algorithmen sind als klinikspezifische, standardisierte Handlungsleitlinien definiert, welche die optimale Darstellung komplexer Abläufe und ihrer Entscheidungspunkte durch Flussdiagramme ermöglichen. Sie sind jedoch nicht als Handlungsanweisung miss zu verstehen, sondern zeigen einen möglichen Handlungsweg auf. In Einzelfällen muss von diesen Algorithmen abgewichen werden (99).

Nast-Kolb et al. entwickelten eine Behandlungsleitlinie für die Versorgung polytraumatisierter Patienten mit einer Unterteilung in vier Phasen, die den verschiedenen diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen, eingestuft nach ihrer Dringlichkeit, einen engen Zeitrahmen als Zielvorgabe zuweisen (66, 99).

In Phase Alpha müssen lebensbedrohliche Atmungs- und Kreislaufstörungen erkannt werden und lebensrettende Sofortmaßnahmen erfolgen (1 Min.).

Phase Bravo umfasst dringliche Sofortmaßnahmen, um die Atmungs- und Kreislauffunktion zu sichern bzw. wiederherzustellen (innerhalb der ersten 5 Min.).

In Phase Charlie werden die Maßnahmen der obligaten klinischen und radiologischen Primärdiagnostik zusammengefasst (30 Min.). Im Rahmen der Primärdiagnostik wird innerhalb der ersten 15 Min. die Durchführung der bildgebenden Basisdiagnostik gefordert. Diese umfasst die Aufnahmen des Thorax a. p. im Liegen, die Darstellung von Schädel und HWS in zwei Ebenen, eine Beckenübersichtsaufnahme sowie die sonographische Untersuchung des Abdomens. Parallel werden die entsprechenden therapeutischen Maßnahmen und das Monitoring des Patienten durchgeführt.

Ausgehend von Phase Charlie leiten organbezogene Algorithmen fließend in Phase Delta über, während der die Vervollständigung der Diagnostik und der initialen Therapie vor Verlegung in den Operationssaal oder auf die Intensivstation erfolgen soll. In den Rahmen der Komplettierung der Diagnostik wird von Nast-Kolb et al. neben der Vervollständigung der konventionellen Röntgendiagnostik (BWS und LWS in 2 Ebenen und Extremitäten nach Befund) auch die Durchführung der ergänzenden CT-Diagnostik eingeordnet (66).

Eine zweite Variante eines Algorithmus für das Polytraumamanagement stellt das aus dem englischen Sprachraum kommende ATLS-Protokoll (Advanced Trauma Live Support Programm) dar. Hier wird eine zweistufige Behandlungsleitlinie (primary und secondary survey) formuliert, die zwischen der Erfassung und Beseitigung der unmittelbar lebensbedrohlichen Verletzung in einem sogenannten Blitzcheck und der nachfolgenden umfassenden Sekundärdiagnostik nach Erreichen stabiler Kreislaufverhältnisse unterscheidet. Die Basisdiagnostik (Sonographie des Abdomens, Thorax- und Beckenübersicht sowie eine seitliche Aufnahme der HWS) ist hierbei der ersten Phase zugeordnet. Im Anschluss daran erfolgt routinemäßig das Scoring der Patienten zur Bilanzierung der Gesamttraumabelastung (22, 23).

Die Koordination des genauen Ablaufs eines klinikinternen Algorithmus obliegt in beiden Modellen dem so genannten „Traumaleader“. Er muss die diagnostischen und therapeutischen Prioritäten festlegen und die enge interdisziplinäre Zusammenarbeit gewährleisten (23, 66).

Dem Radiologen kommt im Rahmen des Polytraumamanagements die Aufgabe zu, mit Hilfe der entsprechenden bildgebenden Diagnostik einen exakten

Gesamtüberblick über die Verletzungen des polytraumatisierten Patienten zu geben. Dabei muss er entscheiden, ob die geforderte Diagnostik in dem zur Verfügung stehenden Zeitrahmen möglich und entsprechend der klinischen Fragestellung relevant ist (27, 98).

Verschiedene Untersuchungen zur Qualitätssicherung der Polytraumaversorgung bezüglich der Frühletalität und übersehener Verletzungen legen dar, dass sich mit der Entwicklung und Einführung von Algorithmen die Fehlerquote im Polytraumamanagement signifikant verringern lässt (51, 85, 86, 90). Shoemaker et al. weisen in ihren Studien nach, dass die Sterblichkeit bei Einhaltung des Algorithmus zwischen 2% und 6% lag, bei wesentlichen Abweichungen jedoch auf 20% (penetrierendes Trauma) bzw. bis zu 44 - 61% (stumpfes Trauma) anstieg (51, 90). Ruchholtz et al. beschreiben bei einer Patientengruppe von 40 frühverstorbenen polytraumatisierten Patienten 41 Management- und Zeitfehler, die mit 64% den größten Anteil der gefundenen Fehler bildeten und außerdem 83% der Fehler mit einem möglichen Einfluss auf den Tod der Patienten ausmachten (85).

Regel et al. (79) verzeichnen bei der Analyse der Letalität in zwei aufeinanderfolgenden Zeiträumen eine Senkung der Letalität von 40% (1972 - 81) auf 18% (1982 - 91).

#### **1.4 Scoringsysteme**

Scoringsysteme stellen einen Versuch dar, die Verletzungsschwere und deren prognostische Bedeutung für die polytraumatisierten Patienten quantitativ zu erfassen. Die sehr inhomogene Gruppe der polytraumatisierten Patienten soll untereinander vergleichbar gemacht werden, um eine Qualitätskontrolle zu ermöglichen. Ein weiteres Ziel dieser Klassifizierungen ist eine frühzeitige Erkennung der Gesamtbelastung und Gefährdung des einzelnen Patienten. Damit sollen sowohl Hinweise auf erforderliche Behandlungsstrategien gegeben als auch eine Verlaufsbeurteilung bei wiederholter Erhebung ermöglicht werden können. (71, 72, 94).

Die Verfügbarkeit der zu erhebenden Daten bei allen Patienten, der möglichst geringe zeitliche Aufwand und eine enge Korrelation der Einstufung der Patienten zu

Letalität und Morbidität sind wichtige Voraussetzungen für die Praktikabilität eines Scoringsystems. Dabei soll der Score objektiv und reproduzierbar sein (71).

Die verschiedenen Scoringsysteme unterscheiden sich hinsichtlich der zur Beurteilung verwendeten Parameter wie den physiologischen Variablen und dem anatomischen Verletzungsmuster sowie Kombinationen aus beiden Parametern. Des Weiteren definieren sich Scoringsysteme anhand des Zeitpunktes und des Ortes ihres Einsatzes.

Im präklinischen Bereich finden hauptsächlich die Glasgow Coma Scale (GCS) und der Revised Trauma Score (RTS) Verwendung.

Nach Abschluss der Primärdiagnostik werden anatomische Scores wie der Abbreviated Injury Scale (AIS) und der darauf aufbauende Injury Severity Score (ISS) sowie das ebenfalls auf dem AIS aufbauende Anatomische Profil (AP) benutzt.

Insbesondere zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit bezüglich Morbidität und Letalität wurden die kombinierten Scoringsysteme wie der TRISS (Trauma Injury Severity Score) und der ASCOT (A Severity Characterization of Trauma) entwickelt.

Im deutschen Sprachraum wird häufig der in Hannover entwickelte Polytraumaschlüssel (PT) angewendet (71, 72, 94).

Der AIS besteht aus einem umfangreichen Katalog mit über 2000 Diagnosen und Symptomen und ordnet allen Einzelverletzungen einen von sechs Schweregraden zu. Die Schweregradeinteilung des AIS erfolgte durch Expertenmeinung mit den Punktwerten 1-6.

Der ISS-Wert wird aus der Summe der Quadrate der Schweregrade der drei jeweils am schwersten betroffenen Körperregionen (Kopf und Hals, Gesicht, Thorax, Abdomen, knöchernes Becken und Extremitäten sowie Körperoberfläche) errechnet. Bei Vorliegen einer „AIS 6 Verletzung“ (als tödlich eingestufte Verletzung) nimmt der ISS definitionsgemäß den Wert 75 an (72).

Die wesentlichen Schwächen des ISS sind die fehlende Berücksichtigung mehrerer schwerer Verletzungen einer Körperregion sowie die relative Unterbewertung der Schädel-Hirn-Verletzungen (14). Des Weiteren bleiben Einflussgrößen wie physiologische Parameter, Alter und Vorerkrankungen der Patienten gänzlich unberücksichtigt. Der Score korreliert dadurch in weiten Teilen nicht mit der Letalität (72). Ein großer Vorteil der Methode besteht jedoch darin, dass die anatomische Klassifizierung bei jedem Patienten erhoben werden kann.

Insgesamt ist bis heute keine befriedigende Methode zur Klassifizierung der Verletzungsschwere gefunden worden. Trotz der Möglichkeit, große Patientengruppen zu beurteilen, ist eine Einschätzung der individuellen Prognose schwierig (71).

## **1.5 Bildgebende Diagnostik**

Im Rahmen der klinischen Erstversorgung kommt der Bildgebenden Diagnostik die Aufgabe zu, die bereits klinisch gestellten Diagnosen zeiteffizient zu sichern und weitere mögliche Diagnosen aufzuzeigen bzw. auszuschließen. Uffmann (98) formuliert diese Anforderungen als die Notwendigkeit der zeiteffizienten Diagnostik bei Patienten mit labilen Vitalfunktionen und die Evaluierung des Schweregrades von Verletzungen verschiedener Organsysteme sowie die Einschätzung des Therapieerfolges bisheriger Maßnahmen und die Aufdeckung von Komplikationen. Die zuverlässige Erfüllung dieser diagnostischen Anforderungen kann entscheidend Art und Priorität der nachfolgenden Therapie bestimmen. Hierbei ist außerdem zu berücksichtigen, dass der Patient nicht durch langwierige Transporte innerhalb der Klinik, oder durch unnötig viele Umlagerungen, gefährdet werden darf. Erschwerend kommt hinzu, dass parallel zur diagnostischen Abklärung die Kreislaufstabilisierung sowie die kontinuierliche intensivmedizinische Überwachung gewährleistet sein müssen.

Die bildgebende Diagnostik polytraumatisierter Patienten hat insbesondere seit Einführung der Spiral-CT 1989 (34) eine wesentliche Erweiterung erfahren, die zu einer Optimierung der Polytraumatherapie in der interdisziplinären Versorgung beigetragen hat (23, 27, 86, 98). Vor der Entwicklung und Einführung der Spiral-CT war insbesondere aus Zeitgründen die Primärdiagnostik weitgehend auf den Bereich der konventionellen Radiologie und der Sonographie beschränkt (79). Eine Ausnahme bildete hier schon frühzeitig die Durchführung einer CT-Untersuchung zur Abklärung des Schädel-Hirn-Traumas (82, 111). Bei modernen Spiral-CT-Geräten verkürzt sich die reine Untersuchungsdauer auf die Größenordnung von Minuten (86). Somit ergibt sich prinzipiell die Möglichkeit, die Indikationsstellung auch auf Patienten mit kritischer Kreislaufsituation auszudehnen (50, 98). Daher ist die Spiral-CT ein wichtiger Bestandteil in der interdisziplinären Zusammenarbeit mit dem Ziel

eines rationalen, möglichst schnell durchführbaren Diagnose- und Therapiekonzeptes geworden.

### **1.5.1 Schädel-Hirn-Trauma**

Das Schädel-Hirn-Trauma ist die häufigste unmittelbar unfallbedingte Todesursache polytraumatisierter Patienten (27) und stellt nach den Verletzungen der Extremitäten die zweithäufigste Unfallfolge dar (79). Ein operativer Eingriff kann insbesondere beim epi- und subduralen Hämatom sowie bei Kalottenimpressionsfrakturen indiziert sein. Hierbei ist die sofortige neurochirurgische Therapie für die weitere Prognose ausschlaggebend. Unbestritten sind intrakranielle Blutungen, Kontusionsverletzungen des Hirnparenchyms oder ein Hirnödem in der Akutphase am besten mittels Computertomographie nachzuweisen (62, 82, 100, 104). Aus diesem Grund wird bei begründetem Verdacht auf ein Schädel-Hirn-Trauma eine relativ großzügige Indikationsstellung zur Durchführung einer kraniellen CT-Untersuchung in der Akutphase gefordert (104). Da die Indikation zur operativen Intervention nur in ca. 4% der Fälle besteht (79), wird die kranielle Computertomographie nicht innerhalb der ersten Minuten, sondern innerhalb der ersten 30 Minuten gefordert (66). Unabhängig von der OP-Indikation muss eine adäquate intensivmedizinisch-anästhesiologische Überwachung mit ausreichender Perfusion und Oxygenierung des Hirnparenchyms gewährleistet sein, da sich sonst die Prognose bei schwerem SHT mit einer Letalität von bis zu 60% signifikant verschlechtert (84).

Da aufgrund des flächendeckenden Rettungswesens mit einer verbesserten und zeiteffizienten präklinischen Versorgung polytraumatisierter Patienten die Transportzeit deutlich verkürzt wurde, muss immer mit in Betracht gezogen werden, dass pathologische cCT-Befunde (z.B. Kontusionsblutungen) zum Zeitpunkt der Primärdiagnostik noch nicht nachweisbar sind oder in ihrem Ausmaß unterschätzt werden. Insbesondere extrazerebrale Hämatome können innerhalb von Stunden eine operationsbedürftige Größe entwickeln. Bis sich kontusionelle Veränderungen in ihrem vollen Ausmaß zeigen, können 24 Stunden vergehen (104).

Die vielfach vorgeschlagene primäre Durchführung der Röntgennativdiagnostik des Schädels in zwei Ebenen wird von Wiesmann et al. hingegen als wenig sinnvoll

erachtet, da Untersuchungen zeigen, dass mehr als 90% der Patienten mit einer Kalottenverletzung keine intrakraniellen Verletzungen, aber mehr als 50% der Patienten mit intrakraniellen Verletzungen keine Kalottenfrakturen aufweisen. Die Röntgennativdiagnostik des Schädels ist somit sowohl zum Nachweis wie auch zum Ausschluss eines Schädel-Hirn-Traumas ungeeignet (104).

Zur optimalen Darstellung von Schädelbasisfrakturen wird eine CT der Schädelbasis in HR-Technik mit einer Schichtdicke von 1-1,5 mm empfohlen (62, 104).

Kann ein neurologisches Defizit auch nach einer Kontrolluntersuchung nicht oder nicht ausreichend durch den cCT-Befund erklärt werden, besteht in der subakuten Phase etwa 3-7 Tage nach dem Trauma die Indikation zur weiteren Diagnostik mittels MRT (62, 104). Die Indikation zu einer MRT-Untersuchung in der Akutphase sieht Wiesmann nur bei zusätzlichem Verdacht auf ein spinales Trauma oder eine Gefäßdissektion (104).

### **1.5.2 Gesichtsschädel**

Im Gesamtverletzungsbild eines Polytraumas erscheint eine Verletzung des Gesichtsschädels zunächst zweitrangig, da sie keine vital gefährdende Verletzung darstellt. Trotzdem ist eine möglichst frühzeitige diagnostische Abklärung wichtig, um eine adäquate Therapie einzuleiten, da ohne dies gravierende funktionelle Einschränkungen oder Deformitäten des Gesichtsschädels die Folge sein können (22, 97).

In der Röntgennativdiagnostik ist das komplexe Verletzungsmuster oft nur unzureichend beurteilbar. Hier gilt die CT-Diagnostik als Methode der Wahl, da sie sowohl die knöchernen als auch die begleitenden Weichteilverletzungen darstellt und zudem Sekundärrekonstruktionen ermöglicht (32, 67, 97). Insbesondere im Bereich der Orbita lassen sich mittels CT Hinweise auf Verletzungen des Augapfels und des N. opticus darstellen (67).

### **1.5.3 Thorax**

Als primäres bildgebendes Verfahren thorakaler Verletzungsfolgen bei polytraumatisierten Patienten wird die Thoraxübersichtsaufnahme zur ersten



Abschätzung thorakaler Verletzungsfolgen gefordert (26, 66). Seit Einführung der Spiral-CT tritt jedoch die Bedeutung der CT des Thorax mit Applikation von intravenösem Kontrastmittel im Rahmen der Erstdiagnostik immer mehr in den Vordergrund (47, 95, 98). Uffmann et al. sehen bei entsprechender Klinik die Möglichkeit der primären diagnostischen Abklärung des Thorax mittels Spiral-CT mit der eventuellen Erweiterung der Untersuchung auf das Abdomen. Er empfiehlt die Durchführung der Untersuchung des Thorax in caudo-cranialer und des Abdomens in cranio-caudaler Richtung mit einer Schichtdicke von 7 mm, einem Tischvorschub von 12 mm und einem Rekonstruktionsindex von 6 mm. Dabei soll eine Kontrastmittelmenge von 120 – 150 ml (für Thorax und Abdomen) mit einem Flow von 3-4 ml/s appliziert und die Untersuchung mit einem Delay von 30 sec. gestartet werden (98).

Die von Trupka et al. durchgeführte Untersuchung weist nach, dass aus der CT des Thorax bei 65% der 103 untersuchten Patienten (94 Polytraumata und 9 isolierte Thoraxtraumata) Zusatzinformationen zur konventionellen Röntgenaufnahme gefunden wurden und dass hieraus bei 41% aller Patienten zum Teil wesentliche therapeutische Konsequenzen gezogen wurden. Bei 30% der Patienten erfolgte eine Lagekorrektur oder eine Neuanlage einer Thoraxdrainage, bei 14% ergaben sich wesentliche Konsequenzen für die intensivmedizinische Therapie (Beatnungsmodus / Lagerung) und bei 12% musste auf eine primäre Endonagelung bei Extremitätenverletzungen aufgrund der ausgeprägten Lungenkontusion verzichtet werden (95).

In einer weiteren Studie zeigte sich bei 38% der Patienten ein therapierelevanter Informationsgewinn durch die CT des Thorax (47).

In beiden Studien wurden selektiert Patienten mit Verdacht auf ein Thoraxtrauma untersucht.

Grieser et al. hingegen erfassten prospektiv 102 konsekutive polytraumatisierte und hämodynamisch stabile Patienten, bei denen sie die Befunde der Röntgen-Thoraxübersichtsaufnahme im Schockraum mit den Befunden der Thoraxcomputertomographie und den jeweils unmittelbar im Rahmen des Schockraummanagement abgeleiteten therapeutischen Konsequenzen verglichen. Bei 30,4% der Patienten mit therapierelevanten Befunden in der Röntgen-Thoraxübersichtsaufnahme ergaben sich in der Thoraxcomputertomographie

zusätzliche relevante Befunde. Insgesamt profitierten 26,5% aller 102 Patienten von der Thoraxcomputertomographie. Als häufigste therapeutische Konsequenz wird die Anlage einer Thoraxdrainage benannt (26).

Die besondere Bedeutung der CT des Thorax liegt unter anderem darin, dass sie wesentlich exakter kontusionelle Veränderungen des Lungenparenchyms aufzeigt, die auf der Thoraxübersichtsaufnahme zum Teil gar nicht oder nur schlecht zur Darstellung kommen (15, 47, 95). Schild et al. weisen dies in einer experimentellen Studie im Vergleich von Thoraxübersichtsaufnahmen, CT-Untersuchungen des Thorax und dem Obduktionsergebnis nach (87). Beim stumpfen Thoraxtrauma, welches bei polytraumatisierten Patienten zumeist vorliegt, ist die Lungenkontusion die häufigste Verletzungsfolge (98). Das Ausmaß der Lungenkontusion ist aufgrund der engen Korrelation zum maximalen Beatmungsdruck und zur Beatmungsdauer ein wichtiger prognostischer Faktor, insbesondere da die Letalität stark ansteigt, wenn mehr als 25% des Lungenparenchyms nicht belüftet sind (47). Des Weiteren wird in der Lungenkontusion ein wesentlicher Faktor für das posttraumatische Lungenversagen und das Auftreten entzündlicher Komplikationen gesehen (95). Die CT des Thorax ist ebenfalls beim Nachweis von Pneumothoraces, Hämatothoraces und beim Nachweis von Katheterfehlagen der Thoraxübersichtsaufnahme deutlich überlegen (3, 26, 47, 95, 98). Die suffiziente Entlastung eines Pneumothorax ist insbesondere beim beatmeten Patienten zur Vermeidung eines Spannungspneumothorax von Bedeutung (3).

Als Erweiterung gegenüber konventionellen Röntgenaufnahmen ermöglicht die CT des Thorax mit intravenöser Kontrastmittelgabe eine Beurteilung der großen mediastinalen Gefäße. So kann mit einer größeren Spezifität die Diagnose einer lebensbedrohlichen traumatischen Aortenruptur oder -dissektion gestellt oder ausgeschlossen werden (23,98). In der konventionellen Röntgenaufnahme weist ein verbreitertes oberes Mediastinum auf eine solche Verletzung hin. Diese Verbreiterung kann jedoch verschiedene Ursachen haben und bietet damit nur eine geringe Spezifität von 10-20% für das Vorliegen einer Aortenruptur (98).

Aufgrund des wesentlichen Informationsgewinnes aus der CT des Thorax und den daraus ableitbaren therapeutischen Konsequenzen wird bei hämodynamisch stabilen, intubierten Patienten von einigen Autoren die zügige Durchführung dieser Untersuchung als Bestandteil der primären Diagnostik gefordert (26, 27, 47, 95). Als

Standard gilt die CT-Untersuchung zur Abklärung einer nativradiologisch auffälligen Mediastinalverbreiterung (27), wobei kontrovers diskutiert wird, ob eine Spiral-CT-Angiographie eine ausreichende Sensitivität und Spezifität für den Nachweis einer Aortenläsion aufweist, um als Standardmethode die Angiographie in der DSA-Technik zu ersetzen (22, 25, 58, 103). Als weitere Methode wird von anderen Autoren primär die Durchführung der transösophagealen Echokardiographie zur Abklärung empfohlen (23).

Zur beschleunigten Durchführung der CT des Thorax wurde von Hirschelmann ein Untersuchungsmodus ohne Hochlagerung der Arme vorgestellt. Die erste Auswertung von 50 Untersuchungen zeigt eine ausreichende Beurteilung der unmittelbar therapielevanten Befunde bei insgesamt gering eingeschränkter Bildqualität (31).

#### **1.5.4 Abdomen**

Im deutschsprachigen Raum kommt es unfallbedingt mehrheitlich zu stumpfen Abdominalverletzungen, während das penetrierende Abdominaltrauma im Gegensatz zum angloamerikanischen Sprachraum eher selten auftritt (44, 65). Studien haben gezeigt, dass abgesehen vom schweren Schädel-Hirn-Trauma unstillbare intraabdominelle Massenblutungen die häufigste Ursache für die Frühletalität beim Polytrauma sind (65). Übersehene Abdominalverletzungen stellen eine der häufigsten vermeidbaren Todesursachen beim Polytrauma dar (22). Bei richtiger Diagnose und adäquater Therapie haben intraabdominelle Verletzungen keinen nennenswerten Einfluss auf den weiteren Verlauf und die Prognose (65). Dies verdeutlicht, wie wichtig eine frühzeitige und umfassende diagnostische Abklärung ist.

Zur primären Abklärung des Abdomens steht die Sonographie für viele Autoren an erster Stelle (44, 65, 66). Freie Flüssigkeit kann hierbei mit großer Sicherheit nachgewiesen werden. Die Beurteilung des Verletzungsumfangs der einzelnen Organe sowie des Retroperitoneums und des Mesenteriums ist sonographisch schwierig (28, 44). Eine neuere Untersuchung von Stengel et al. weist in einer Metaanalyse zum notfallmäßigen Einsatz der Sonographie bei Verdacht auf stumpfes Bauchtrauma eine unerwartet geringe Sensitivität für den Nachweis freier

Flüssigkeit und die Aufdeckung von Organläsionen nach (92). Sie fordern auf dieser Grundlage unabhängig vom jeweiligen Sonographiebefund die anderweitige Abklärung des Abdomens zum Beispiel mittels CT.

Brown et al. zeigen in ihrer Studie, dass insbesondere bei Organverletzungen ohne den Nachweis freier Flüssigkeit zum Untersuchungszeitpunkt, in der Ultraschalluntersuchung lediglich 53% der Verletzungen parenchymatöser Organe nachgewiesen werden konnten (13). Lobrano et al. beziffern die Sensitivität, in der Ultraschalluntersuchung im Rahmen des FAST-Protokolls eine abdominelle Verletzung nachzuweisen auf 76% mit einer Spezifität von 98% (52).

Die CT-Untersuchung hingegen ist in der Lage, ein wesentlich exakteres Bild der Verletzungsausdehnung parenchymatöser Organe und eindeutigere Zeichen der Verletzung von Hohlorganen oder Gefäßen einschließlich Hinweisen auf die Lokalisation der Läsion zu geben (5, 6, 44, 65, 74). Deswegen wird von Kretschmer et al. bei hämodynamisch stabilen, polytraumatisierten Patienten mit sonographisch nachgewiesener Organläsion und freier intraabdomineller Flüssigkeit sowie bei unklaren sonographischen Befunden die weitere Abklärung des Abdomens mittels Spiral-Computertomographie in der Akutphase empfohlen (44).

Von Shuman wird für die Untersuchung des Abdomens eine Schichtdicke von 5-8 mm mit einem Pitch von 1-2 und einem Rekonstruktionsindex von 5-8 mm empfohlen. 5-40 Minuten vor der Untersuchung fordert er die Gabe von oralem Kontrastmittel mittels Magensonde sowie die Gabe von 130-180 ml intravenösem Kontrastmittel und anschließendem Start der Untersuchung mit einem Delay von 70-90 Sekunden (91). Vergleichbare Angaben finden sich auch bei Becker (Eur Radiol 98 8:553-362), hier mit einem Rekonstruktionsindex von 3-8 mm bei gleicher Schichtdicke und Pitch sowie einem Delay von 60-70 sec. Auch er empfiehlt die vorherige Gabe von oralem, wasserlöslichem Kontrastmittel. Schmidt et al. sehen dagegen in der Gabe von oralem Kontrastmittel einen zu großen Zeitverlust gegenüber einem fraglichen diagnostischem Informationsgewinn, da gerade nach einem stumpfen Bauchtrauma die Darmmotilität verlangsamt und eine Kontrastmittelpassage damit erheblich beeinträchtigt ist (88).

Vorteile der intravenösen Kontrastmittelgabe bei der Abdomen-CT liegen darin, dass ein Nachweis aktiver Blutungsquellen bei Darstellung eines Kontrastmittelextravasates möglich ist. Zudem lässt sich neben der

Nierendurchblutung auch die Kontrastmittelausscheidung darstellen und ermöglicht so eine bessere Beurteilung der ableitenden Harnwege (5, 44).

Eine mögliche Schwierigkeit in der Beurteilung der Milz sehen einige Autoren in der inhomogenen Kontrastmittelaufnahme der Milz, wenn diese in einer arteriell betonten Kontrastmittelfase dargestellt wird (7, 59, 91).

Die prognostische Bedeutung der CT des Abdomens darf jedoch bezüglich der OP-Indikation bei Verletzungen insbesondere von Leber und Milz nicht überschätzt werden. Mehrere Untersuchungen haben gezeigt, dass das Ausmaß der Parenchymläsionen alleine keine sichere Entscheidungshilfe bei der Wahl zwischen konservativer und operativer Therapie bietet (4, 5, 6, 7, 59, 60).

Shuman et al. sehen in der möglichen Aufdeckung der Blutungsquelle in der Computertomographie des Abdomens insbesondere auch bei Patienten mit kritischer Kreislagsituation einen Zeitvorteil hinsichtlich eines gezielten operativen Vorgehens und der Möglichkeit, gegebenenfalls interventionell angiographisch tätig zu werden und eine Operation zu umgehen (91).

Erste Untersuchungen des routinemäßigen Einsatzes der Abdomen-CT haben gezeigt, dass sich bei unauffälliger primärer Sonographie nur selten therapierelevante Zusatzinformationen ergeben, dass aber bei unklarer oder pathologischer Sonographie die CT-Untersuchung bei einer signifikanten Anzahl von Patienten zu einer optimalen Primärversorgung geführt hat (44). Es bleibt zu bedenken, dass die Sonographie untersucherabhängig ist und beim polytraumatisierten Patienten unter deutlich erschwerten Bedingungen durchgeführt werden muss. Zudem muss eine große Erfahrung und ständige Übung des Untersuchers gegeben sein (44).

Die CT-Untersuchung des Abdomens kann somit eine wichtige Grundlage zur präziseren Planung des therapeutischen Vorgehens, insbesondere auch der differenzierteren Indikationsstellung zur Laparotomie bilden (65).

### **1.5.5 Becken**

In der Literatur werden ossäre und ligamentäre Beckenringverletzungen als Folge starker Gewalteinwirkung beschrieben (29, 30). Im Vergleich zu anderen Frakturlokalisationen treten Beckenfrakturen zwar mit 3-8% relativ selten auf (76),

kommen aber bei schweren Beckenverletzungen aufgrund ihres Unfallmechanismus in bis zu 90% mit z.T. schweren Begleitverletzungen anderer Körperregionen oder Organsystemen vor (29). Eine große multizentrische Studie dokumentierte in 0,9% der Fälle die Beckenverletzung als führende Todesursache (76). Pohlemann et al. beziffern den Anteil der polytraumatisierten Patienten auf 77% aller erfassten Patienten mit einer Beckenverletzung (75).

Die bildgebende Diagnostik muss eine Einteilung in stabile, partiell instabile und instabile Frakturen ermöglichen und das Ausmaß des peripelvinen Weichteilschadens darstellen, um anhand dessen die entsprechenden therapeutischen Maßnahmen einzuleiten (29, 78, 89). Heller et al. weisen in ihrer Untersuchung nach, dass partiell stabile und instabile Beckenringverletzungen bei Verkehrsunfällen und Stürzen aus großer Höhe dominieren. Des Weiteren zeigen sie auf, dass bei jüngeren Patienten tendenziell ein schwereres Verletzungsmuster vorliegt (29).

Im Vergleich der Röntgennativdiagnostik mit der CT des Beckens zeigt sich, dass insbesondere bei Kombinationsverletzungen für die Beurteilung des hinteren Pfeilers, des hinteren Pfannenrandes, der SIG sowie auch des Os sacrum die Röntgennativdiagnostik vielfach unzureichend ist. In diesen Fällen ist eine CT des Beckens die Methode der Wahl, um eine exakte Stabilitätsbeurteilung des Beckens vornehmen zu können (29, 30, 38, 89). Die Spezifität der CT-Auswertung bei Acetabulumfrakturen wird von Schmitt et al. im Vergleich zum Operationsbefund mit 97% angegeben, eine Übereinstimmung des computertomographischen Befundes mit dem konventionellen Röntgenbefund fand sich in 78% der Fälle (89).

Ein weiterer Vorteil der CT des Beckens besteht darin, dass sie die potentiellen Begleitverletzungen der pelvinen Organe und der Weichteile aufdeckt (27, 29). So weist Pohlemann darauf hin, dass selbst bei regelrechten therapeutischen Maßnahmen die Letalität bei Vorliegen von Begleitverletzungen der Weichteile fast dreimal so hoch ist als ohne (75). Kaulbach et al. ziehen den Schluss, dass konventionelle Röntgenaufnahmen in der Primärdiagnostik zur ersten Orientierung indiziert sind, dass zur genaueren Abklärung aber immer die Computertomographie erforderlich ist (38).

### 1.5.6 Wirbelsäule

Wie in der Literatur übereinstimmend festgestellt wird, ist die klinische Erfassung von Wirbelsäulenverletzungen der polytraumatisierten Patienten schwierig, da eine neurologische Beurteilung der meist bewusstseinsgetrübten oder bewusstlosen und initial intubierten Patienten häufig nicht möglich ist (27). Einigkeit herrscht auch darüber, dass übersehene oder verzögert diagnostizierte Frakturen der HWS ein großes Risiko einer neurologischen Schädigung bergen (22, 27).

Bei etwa 20 bis 30% der polytraumatisierten Patienten ist mit einer Verletzung der Wirbelsäule zu rechnen (9, 83). Die Gefahr, eine Wirbelsäulenverletzung beim polytraumatisierten Patienten zu übersehen, liegt etwa bei 20% (9). Aufgrund dessen wird im Rahmen der primären Diagnostik die Darstellung der gesamten Wirbelsäule als obligatorische Diagnostik gefordert (27, 83). Bei der Erfassung der Verletzungsfolgen muss insbesondere die Beurteilung der Frakturstabilität gewährleistet sein (42).

Verschiedene Studien haben gezeigt, dass die konventionelle Radiographie insbesondere hinsichtlich der Beurteilbarkeit von HWK I und II sowie des cervicothorakalen Überganges häufig unzureichend und die Computertomographie in der Frakturdiagnostik überlegen ist (1, 49, 69, 108, 109).

Das Risiko, eine Wirbelkörperfraktur der HWS zu übersehen, wird sehr unterschiedlich beziffert. El-Khoury zitiert in seinem Artikel verschiedene Studien, bei denen der Prozentsatz übersehener HWS-Verletzungen von 7% bis zu 22,9% reicht (20).

Woodring und Lee (108) hingegen verzeichneten in ihrem 216 Personen umfassenden Patientengut bei einer retrospektiven Auswertung der konventionellen Röntgenaufnahmen der HWS (HWS in zwei Ebenen und Dens Aufnahme) 42% übersehene Frakturen und 7% übersehene Subluxationen und Luxationen. Wurden hingegen die konventionellen Aufnahmen zusammen mit den zusätzlich durchgeführten CT der HWS (Schichtdicke 5mm, Tischvorschub 3mm) ausgewertet, so waren 98% der Frakturen und 99% der Subluxationen und Luxationen nachweisbar. Woodring und Lee empfehlen deswegen die Ergänzung der konventionellen Aufnahmen durch eine CT der HWS bei Patienten mit Verdacht auf eine HWS-Läsion und entsprechendem Unfallmechanismus. Bei alleiniger Berücksichtigung der computertomographischen Untersuchungen im Rahmen

derselben Untersuchung wurde der Anteil der übersehenen Frakturen auf 10% (hauptsächlich axial verlaufende Frakturen, Dens) und der übersehenen Subluxationen oder Luxationen auf 46% beziffert (108).

In einer Untersuchung von Acheson et al. wird der Prozentsatz der konventionell übersehenen Verletzungen der HWS auf 47% beziffert. Allerdings wurden lediglich bei einem der 49 Patienten die Aufnahmen fälschlich als vollständig unauffällig bewertet. Bei den übrigen Verletzungen bestand entweder der Verdacht auf eine Läsion oder die Fraktur lag benachbart einer gesehenen Verletzung. In der computertomographischen Untersuchung wurden 99% der Frakturen diagnostiziert (1). Deshalb wird die Abklärung mittels Computertomographie bei konventionell gesehener oder verdächtigter Fraktur sowie bei technisch bedingter eingeschränkter Beurteilbarkeit empfohlen.

Diskutiert wird die routinemäßige Erweiterung des cCT um die Darstellung von HWK I und II bei Patienten mit Schädelhirntrauma bzw. bei Patienten, bei denen eine Densaufnahme nicht möglich ist (8, 49, 106). Diese Erweiterung ist jedoch noch kein empfohlener Standard.

Nunez et al. empfehlen die primäre Untersuchung der HWS mittels Spiral-CT als Screeningmethode bei polytraumatisierten Patienten, da diese Untersuchungsform zeiteffizient und sehr zuverlässig sei und die meisten dieser Patienten schwere Verletzungen anderer Körperregionen aufwiesen, die ebenfalls eine Abklärung mittels CT erforderlich machten. Die Untersuchung der HWS soll mit einer Schichtdicke von 5mm, einem Pitch von 1 und einem Rekonstruktionsindex von 5mm erfolgen (68).

Auch im Bereich der thorakolumbalen Wirbelsäule ist die CT in bezug auf die Stabilitätsbeurteilung den konventionellen Aufnahmen überlegen (9, 56). Zudem werden in der CT des Thorax und des Abdomens neben der Abklärung des knöchernen Bewegungsapparates wichtige Begleitverletzungen bei Wirbelkörperfrakturen in dieser Region aufgedeckt (9). So weist Blauth darauf hin, dass eine Fraktur im oberen und mittleren Drittel der thorakalen Wirbelsäule häufig mit einem Hämatothorax und / oder einer Lungenkontusion auftritt und dass es, wenn auch seltener, im Rahmen des sogenannten „seat-belt-syndrom“ zu intraabdominellen Begleitverletzungen bei Frakturen bevorzugt im Bereich von L1-3



kommen kann (9). Diese Verletzungen können das therapeutische Management der Frakturstabilisierung wesentlich beeinflussen.

Im Rahmen der Polytraumadiagnostik, wie auch bei anderen Patienten mit einer Wirbelsäulenverletzung, wird die CT-Untersuchung insbesondere bei unklaren konventionellen Befunden der Wirbelsäule als ergänzende Untersuchung gefordert (8, 20, 42). Vor allem für die Beurteilung der Wirbelbögen und der Wirbelkörperhinterkante ist die CT ein unverzichtbarer Bestandteil der bildgebenden Diagnostik der Wirbelsäule (19).

### **1.5.7 Extremitäten**

Die konventionelle Diagnostik der Extremitäten erfolgt nach sorgfältiger klinischer Untersuchung des Patienten und entsprechender Indikationsstellung. Zeitlich ist sie vom Algorithmus her im Bereich der Vervollständigung der Diagnostik verankert (siehe Kap. 1.3).

Untersuchungen haben ergeben, dass die übersehenen Verletzungen des Stütz- und Bewegungsapparates etwa 50% der initial übersehenen Verletzungen ausmachen (22). Hauptsächlich betroffen sind hierbei der Schultergürtel, der Vorfuß und die ligamentären Strukturen des Knies, diese vorwiegend bei gleichzeitiger Ober- und Unterschenkelfraktur (57).

## **1.6 Neue Ansätze in der Polytraumadiagnostik**

Wie in den vorhergehenden Abschnitten dargelegt, wird in der aktuellen Literatur die CT vielfach als das Verfahren angesehen, welches der konventionellen Radiologie deutlich überlegen ist. Im Rahmen der Primärdiagnostik beim Polytrauma ist bislang als einzige routinemäßig etablierte computertomographische Untersuchung die cCT zur Abklärung des Schädel-Hirn-Traumas eingeführt. Die CT der übrigen Körperregionen wird hingegen meist als ergänzende Methode zum konventionellen Verfahren betrachtet (s. Phase Delta des Polytraumaalgorithmus von Nast-Kolb).

Es gibt jedoch auch einige neuere Ansätze, die den primären Einsatz der CT in der Polytraumadiagnostik untersuchen.

Löw stellt anhand von 27 polytraumatisierten Patienten ein Konzept zur primären Diagnostik mittels „Ganzkörper“-Spiral CT vor (54). Nach Erstellen zweier digitaler Radiogramme mit einer Länge von je 1024 mm zur a.p. Projektion des gesamten Skeletts und der separaten Untersuchung von Schädel und HWS (je nach Indikation) erfolgt die Nativuntersuchung von Thorax, Abdomen und Becken mit einer Schichtdicke von 10mm, einem Pitch von 2 und einem Rekonstruktionsindex von 8-10. Löw postuliert anhand der Ergebnisse, dass auf eine konventionelle Radiographie der proximalen Extremitäten und der Sonographie des Abdomens weitgehend verzichtet werden kann, ohne therapierelevante Befunde zu übersehen. In einer neueren Untersuchung stellen Löw et al. die Untersuchungsergebnisse von 47 schwer verletzten Patienten vor. In Abweichung zu dem vorherigen Untersuchungsprotokoll erfolgt jetzt die Untersuchung von Thorax und Abdomen mit einer Schichtdicke von 5 mm, einem Pitch von 2 und einem Rekonstruktionsindex von 5 mm nach i.v.-Applikation eines nichtionischen, jodhaltigen Kontrastmittels mit einem Delay von 30 Sekunden (53). Zusätzlich zu der Änderung des CT-Untersuchungsprotokolls werden jetzt im Rahmen der Primärdiagnostik konventionelle Aufnahmen von HWS, Thorax und Becken sowie eine sonographische Untersuchung des Abdomens vor der CT-Diagnostik durchgeführt. Linsenmaier und Brandl stellen erste Ergebnisse einer neuen Untersuchungsstrategie bei polytraumatisierten Patienten mit einer Verkürzung der CT-Untersuchungsdauer von im Schnitt 35 Minuten auf 15 Minuten vor (12, 50). Die Untersuchung erfolgt mit vorprogrammierten, optimierten Organprotokollen. Untersuchungsprotokoll: cCT nativ ohne Gantrykipfung (8/8/8mm), Thorax caudo-cranial nach KM i.v. (5/5,7/5mm; delay 30s) und Abdomen cranio-caudal (8/12/8mm; delay 60s). Bei Verdacht auf mesenteriale Verletzungen wurden im Schockraum sofort 500 ml KM oral über eine Magensonde verabreicht. Ergänzend wurde am CT eventuell die Untersuchung der Schädelbasis (3/3/3mm) oder der Wirbelsäule angeschlossen. Zusätzlich erfolgten immer eine Thoraxübersichtsaufnahme, eine seitliche Aufnahme der HWS und eine Sonographie des Abdomens. Bei 30 untersuchten Patienten wurden keine therapierelevanten Verletzungen übersehen. Neben den positiven Aspekten wie dem Zeitgewinn innerhalb der Diagnostik und der schnellen Umsetzung therapeutischer Konsequenzen war jedoch insbesondere die Beurteilung der ungewohnten Schnittführung bei fehlender Gantrykipfung in der cCT

problematisch.

## **1.7 Spiral-Computertomographie**

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die als Standard eingeführte konventionelle Primärdiagnostik in der Lage ist, zeiteffizient einen ersten Überblick über die Verletzungen des polytraumatisierten Patienten zu geben. Diese Primärdiagnostik umfasst die Darstellung des Thorax a.p., die Beckenübersichtsaufnahme, die Darstellung von HWS, BWS und LWS in zwei Ebenen sowie die Sonographie des Abdomens. Für die Optimierung der weiteren Therapieplanung fehlen jedoch häufig detailliertere Informationen über das Verletzungsausmaß einzelner Körperregionen (23, 27).

Die Gewinnung dieser Informationen ist im Rahmen der Polytraumadiagnostik mit Einführung der Spiral-CT aufgrund einer wesentlichen Verkürzung der Untersuchungszeit möglich geworden. Diese steht hiermit als eine schnelle Methode im Rahmen der Primärdiagnostik des Polytraumas zur Verfügung. Die meisten klinikinternen Algorithmen zur Polytraumadiagnostik sehen die Computertomographie als ergänzende Diagnostik, wie von Nast-Kolb und Mitarbeitern vorgeschlagen (siehe Kap. 1.3).

Aufgrund der in den vorhergehenden Abschnitten dargelegten Vorteile der CT wurde im Berliner Unfallkrankenhaus ein Diagnosekonzept entwickelt, welches im Rahmen der bildgebenden Diagnostik nach Durchführung einer Abdomensonographie im Schockraum die anschließende röntgenologische Untersuchung polytraumatisierter Patienten primär mittels Computertomographie unter Verzicht auf vorherige konventionelle Aufnahmen vorsieht. Die Durchführung dieses Konzeptes wird auf der Grundlage der Datenanalyse von 340 aufeinander folgenden Patienten diskutiert.

Folgende Fragen sollen hierbei beantwortet werden:

- Ist die Spiralcomputertomographie eine geeignete Methode, um unter Verzicht auf die konventionelle Radiographie alle Verletzungen im Bereich von Kopf, Wirbelsäule und Körperstamm sicher und zeitökonomisch zu erfassen?
- Wie zuverlässig lässt sich das Verletzungsmuster in Bezug auf die einzelnen Körperregionen durch das angewandte Untersuchungsprotokoll erheben?

- Ist das vorgestellte Untersuchungsprotokoll einschließlich der Kontrastmittelapplikation optimal oder müssen Modifikationen vorgenommen werden?

Nach kritischer Analyse dieser Fragen soll abschließend beurteilt werden, ob und in welchem Umfang und mit welcher Technik der primäre Einsatz der Spiral-CT im Rahmen der Polytraumadiagnostik als sinnvoll zu erachten ist.

## **2 Patienten und Methoden**

Im Zeitraum von September 1997 bis Juli 1999 wurden alle aufeinanderfolgenden Patienten erfasst, bei denen unter dem Verdacht auf ein Polytrauma eine primäre CT-Untersuchung nach dem nachfolgend näher erläuterten Schema durchgeführt wurde.

### **2.1 Untersuchte Patienten und erfasste Daten**

Als Einschlusskriterium zur Aufnahme in die vorliegende Studie galt der klinische Verdacht auf das Vorliegen eines Polytraumas bei Einlieferung des Patienten, bzw. nach klinischer Erstuntersuchung und orientierendem Ultraschall der Körperhöhlen (n=334).

Als Ausschlusskriterien galten die Verlegung von auswärts nach operativer Primärversorgung (n=2), die Zuführung der Patienten zur radiologischen Diagnostik nach erfolgter Notoperation im eigenen Haus (n=3) und das Versterben eines Patienten im Schockraum (n=1).

Für alle Patienten wurde der Unfallmechanismus erfasst. Hierbei wurde nach Pkw-Unfällen, Unfällen mit dem Kraftrad, dem Fahrrad, als Fußgänger und Verkehrsunfällen ohne nähere Angaben sowie Stürzen und Unfallursachen unbekannter Art unterschieden. Unter der Gruppe der Pkw-Unfälle wurden auch die wenigen Unfälle mit einem Kleintransporter oder einem Lkw subsummiert. Eine Unterscheidung zwischen Fahrer und Beifahrer erfolgte nicht.

Des Weiteren wurde notiert, ob die Verunfallten unmittelbar in das Unfallkrankenhaus Berlin eingeliefert wurden, oder ob sie nach primärer Stabilisierung in einem anderen Krankenhaus in das Unfallkrankenhaus verlegt wurden.

Zur Berechnung der Verletzungsschwere wurde der im Hause üblicherweise verwendete ISS (siehe Kapitel 1.4) herangezogen.

Es wurde die zur Diagnostik in der Computertomographie benötigte Zeit von der Ankunft des Patienten im Untersuchungsraum bis zum Verlassen erfasst. Die Zeitspanne beinhaltet die jeweiligen Umlagerungen des Patienten, die Untersuchungsplanung und die Dauer der Bildakquisition. Innerhalb dieser Zeitspanne

erfolgte auch die erste vorläufige Befunderhebung und Demonstration der Bilder an der CT-Bedienkonsole für das gesamte Traumateteam.

Das Verletzungsmuster wurde anhand der CT-Untersuchung erhoben und nach Körperregionen geordnet aufgelistet. Unterschieden wurde nach Schädelhirntraumata und Gesichtsschädelverletzungen, Verletzungen des Thorax und des Abdomens sowie Frakturen der Wirbelsäule und Verletzungen des Beckenskeletts. Im weiteren Verlauf wurden die Epikrise der Patienten sowie die Ergebnisse der nachfolgenden bildgebenden Diagnostik (konventionelle Radiographie, Computertomographie, Ultraschalldiagnostik, Angiographie) ausgewertet.

Anhand des so erhobenen Gesamtverletzungsmusters der Patienten erfolgte die retrospektive Gruppenbildung mit Unterscheidung in polytraumatisierte und nicht polytraumatisierte Patienten durch einen erfahrenen Unfallchirurgen. Grundlage für die Einteilung als Polytrauma war hierbei die Definition nach Tscherne (siehe Kapitel 1.1).

In der Gruppe der polytraumatisierten Patienten wurden die in der CT-Untersuchung erhobenen Diagnosen anhand des klinischen Verlaufs, operativer und anderer therapeutischer Maßnahmen sowie der Bildgebung im Verlauf überprüft. Im Rahmen der bildgebenden Diagnostik wurden weitere computertomographische Untersuchungen, die konventionelle Radiographie sowie die Ultraschalldiagnostik und die Angiographie herangezogen. Die bestätigten oder widerlegten Diagnosen sowie deren eventuelle Erweiterung wurden erfasst und den primären Diagnosen gegenübergestellt. Verletzungen der Extremitäten wurden nur hinsichtlich des gewählten Regimes der primären Stabilisierung bei gleichzeitigem Vorliegen einer Lungenkontusion erfasst.

Zum Abschluss wurden die durch die CT-Diagnostik erhobenen Befunde der Gruppe der polytraumatisierten und der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten einander gegenübergestellt.

### 2.1.1 Anzahl

Im Zeitraum von September 1997 bis Juli 1999 wurden konsekutiv 340 Patienten erfasst, die primär der Spiral CT zur Diagnostik zugeführt wurden. 6 der Patienten wurden anhand der in Kapitel 2.1 genannten Ausschlusskriterien von der weiteren Erfassung ausgenommen.

### 2.1.2 Alter der Patienten

Es handelte sich um 252 männliche und 82 weibliche Patienten im Alter von 1 bis 91 Jahre mit einem mittleren Alter von 33,9 Jahren (+/- 16,9). 67% der Patienten waren jünger als 40 Jahre (Abb.1).

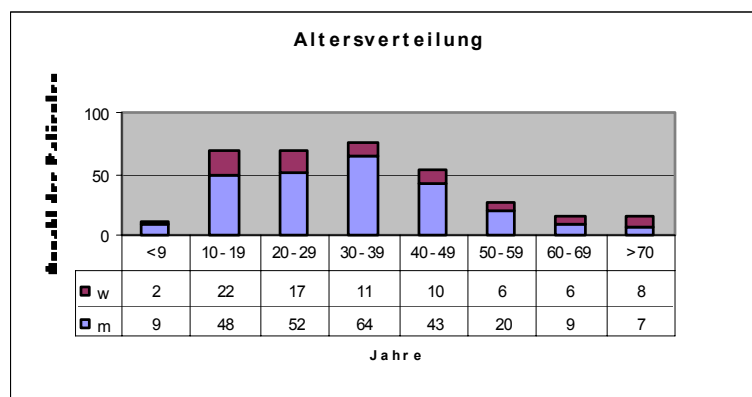
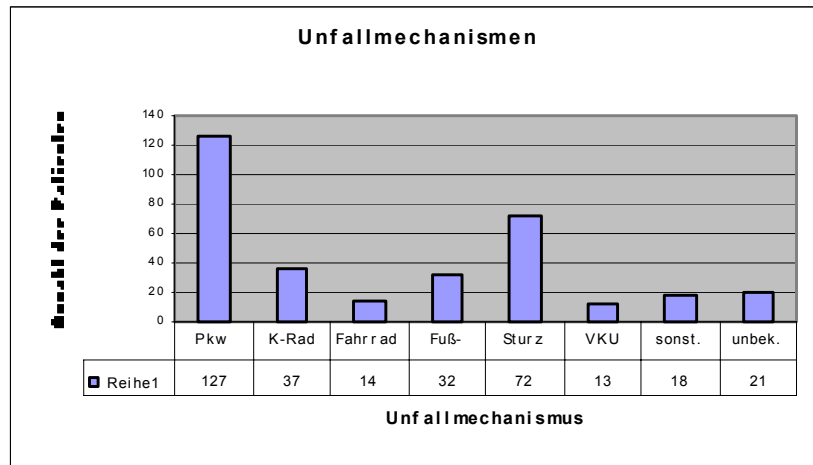


Abb. 1 Altersverteilung aller 340 erfassten Patienten

### 2.1.3 Unfallmechanismus

127 (38,02%) Patienten erlitten einen Unfall mit dem Pkw, 37 (11,1%) mit einem Kraftrad, 14 (4,19%) mit einem Fahrrad, 32 (9,6%) als Fußgänger und 13 (3,9%) bei einem Verkehrsunfall ohne nähere Angaben. 72 (21,56%) Patienten zogen sich ihre Verletzungen bei einem Sturz aus bis zu 18 m Höhe zu. Bei 21 (6,3%) Patienten war der Unfallhergang unbekannt.

242 Patienten wurden unmittelbar nach dem Unfallereignis eingeliefert. 92 Patienten wurden nach Erstversorgung in einem anderen Krankenhaus verlegt.



**Abb. 2: Unfallmechanismen aller Patienten**

### 2.1.4 Patientengruppen und Verletzungsschwere

Die durchschnittliche Verletzungsschwere aller Patienten lag in der Berechnung nach dem Injury Severity Score (ISS) bei 21,73 (+/- 12,58).

In Kenntnis aller Untersuchungsbefunde waren bei der retrospektiven Einstufung der Patienten 114 (34,13%) nach der Definition von Tscherne et al. (siehe Kapitel 1.1) als Polytraumata und 220 (65,87%) als nicht polytraumatisiert einzustufen. Der durchschnittliche ISS der tatsächlich polytraumatisierten Patienten lag bei 32 (+/- 9,93) und der durchschnittliche ISS der nicht polytraumatisierten Patienten bei 15 (+/- 9,38).

Bei 9% der nicht polytraumatisierten Patienten (n=20) handelte es sich um Patienten mit einem Bagatelltrauma, die nach erfolgter Diagnostik nach Hause entlassen wurden und außer Prellungen oder Schürfungen keine nennenswerten Verletzungen aufwiesen.

## 2.2 Diagnostikkonzept

Das Unfallkrankenhaus Berlin wurde im September 1999 als Haus der Maximalversorgung eröffnet. In Zusammenarbeit von Unfallchirurgie und Radiologie wurde ein neues Konzept zur diagnostischen Strategie polytraumatisierter Patienten entwickelt. Ziel war es, einen hausinternen Algorithmus zu entwickeln, der eine



zeiteffiziente Versorgung polytraumatisierter Patienten mit einer größtmöglichen diagnostischen Sicherheit ermöglicht.

Als Koordinator für die Versorgung polytraumatisierter Patienten ist im Unfallkrankenhaus Berlin der jeweilige für die Notfallambulanz hauptverantwortliche Unfallchirurg als sogenannter Traumaleader zuständig. Das ärztliche Traumateam umfasst neben Unfallchirurgen einen Anästhesisten und einen Radiologen. Weitere Fachdisziplinen wie z.B. die Neurochirurgie, Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie und Urologie werden von einem Traumaleader je nach Verletzungsmuster hinzugezogen. Bauliche Voraussetzung ist die unmittelbare Nachbarschaft von Schockraum und Notfall-Radiologie mit Spiral-CT-Einheit. Ein radiologischer Bereitschaftsdienst über 24 Stunden ist gewährleistet.

Besteht keine unmittelbare OP-Indikation nach Ankunft des Patienten im Schockraum, erfolgt die klinische Erstversorgung und parallele Durchführung einer sonographischen Untersuchung von Abdomen und Thorax durch den Unfallchirurgen. Ergibt sich hierbei der klinische Verdacht auf ein Polytrauma, erfolgt die primäre radiologische Diagnostik von Schädel, Halswirbelsäule, Thorax, Abdomen und Becken mittels Computertomographie. Hier wird ein standardisiertes Untersuchungsprotokoll verwendet (siehe Abb. 6 bis 8).

Für die Untersuchung wird der Patient achsgerecht von der Transportliege auf den CT-Tisch umgelagert.

Die CT-Untersuchung (Tomoscan AVE 1, Philips Medical Systems, Niederlande) unterteilt sich in zwei Abschnitte. Zuerst werden Kopf und HWS nativ untersucht. Nach Hochlagerung der oberen Extremitäten – falls das Verletzungsmuster dies zulässt – schließt sich die Untersuchung von Thorax, Abdomen und Becken unter einzeitiger intravenöser Applikation eines nichtionischen Kontrastmittels (Accupaque® 300, Nycomed) an.

Die Untersuchung des Schädels erfolgt entsprechend der Abb. 3.

Schädelbasis und hintere Schädelgrube	Inkremental, nativ
Kollimation	3mm
Tischvorschub	3mm
Sellaeingangsebene bis Scheitel	Inkremental, nativ
Kollimation	7mm
Tischvorschub	7mm
Gantrykipfung	Parallel zur Schädelbasis

**Abb. 3: Untersuchungsprotokoll des Schädels**

Die Untersuchung der HWS erfolgt entsprechend der Abb. 4. Je nach Indikationsstellung wird zusammen mit der HWS auch der Gesichtsschädel mit gleichem Protokoll untersucht.

HWS, Gesichtsschädel	Spiral-CT, nativ
Kollimation	5mm
Tischvorschub	5mm
Rekonstruktionsindex	3mm
Gantrykipfung	Parallel zu der überwiegenden Anzahl der Zwischenwirbelräume

**Abb. 4: Untersuchungsprotokoll für HWS und Gesichtsschädel**

Die CT von Thorax und Abdomen wird in cranio-caudaler Richtung von der oberen Thoraxapertur bis zum Becken einschließlich der unteren Schambeinäste durchgeführt.

Kollimation	7 mm
Tischvorschub	7 mm / s
Rekonstruktionsindex	7 mm
Algorithmus	180° slice interpolation
KM-Menge	150 ml
Flussrate	2,5 ml / s
Start-Delay	30 s
Scan-Volumen	max. 99 Rotationen
Rotationszeit	1 s

**Abb. 5: Untersuchungsprotokoll für Thorax, Abdomen und Becken**

In Abhängigkeit des geschätzten Körpergewichts werden kV und mAs sowie die Kontrastmittelmenge bei Kindern und Jugendlichen reduziert.

Eine kontinuierliche anästhesiologische Betreuung mit Monitoring des Patienten ist während der gesamten Untersuchungszeit gewährleistet. Eine vorherige konventionelle Radiographie ist im Protokoll nicht vorgesehen.

Zur ersten Betrachtung stehen die Bilder an der Bedienkonsole des CT-Gerätes nahezu in real time zur Verfügung. Die Befundung und Nachverarbeitung mit Erstellung multiplanarer Rekonstruktionen der gesamten Wirbelsäule erfolgt durch einen, insbesondere traumatologisch erfahrenen, Radiologen an einer Workstation (EasyVision CT R2.1, Phillips). Routinemäßig wird der primäre radiologische Befund durch einen zweiten erfahrenen Radiologen innerhalb der nächsten 12 Stunden kontrolliert. Zusätzlich ist für Problemfälle ein oberärztlicher Hintergrunddienst über 24 Stunden gewährleistet.

Die Standardfenstereinstellungen (Lungen-, Weichteil- und Knochenfenster sowie Standardeinstellung zur Beurteilung des Cerebrums) wurden während der Befundung an der Workstation ergänzend variabel gewählt. Im Rahmen der komplett digitalen Radiologie entfällt die Filmentwicklung und die gesamte Untersuchung steht allen mitbehandelnden Klinikern an den zur Bildbetrachtung vorgesehenen Bildschirmen des Netzwerkes zur Verfügung.

## 2.3 Statistik

Nach der vollständigen Erfassung des Verletzungsmusters der polytraumatisierten Patienten wurde für jede Körperregion eine Liste der richtig positiven, der falsch positiven sowie der richtig negativen und falsch negativen Befunde erstellt. Anhand dieser Daten wurden Spezifität und Sensitivität der primären Diagnostik polytraumatisierter Patienten mittels der Spiral-CT jeweils in Bezug auf die einzelnen Körperregionen berechnet:

Sensitivität = richtig Positive / richtig Positive + falsch Negative

Spezifität = richtig Negative / richtig Negative + falsch Positive

### **3 Ergebnisse**

#### **3.1 Polytraumatisierte Patienten**

In der retrospektiven Auswertung wurden 114 (34,13%) der Patienten als Polytraumata eingestuft (siehe Kapitel 2.1.4).

##### **3.1.1 Schädel-Hirn-Trauma und Mittelgesichtsverletzung**

63,16% der Patienten (n=72) erlitten ein Schädel-Hirn-Trauma.

43% der Verunfallten (n=49) wiesen in der cCT-Untersuchung einen pathologischen, posttraumatischen intrakraniellen Befund auf. In 16 dieser Fälle lag zusätzlich eine Fraktur vor und in 18 Fällen wurde eine Indikation zur operativen Entlastung einer intrakraniellen Blutung oder eines Hirnödems gesehen.

Bei 57,02% der Patienten (n=65) zeigte die cCT-Untersuchung keinen pathologischen intrakraniellen Befund. Bei 19 dieser Patienten lag klinisch ein SHT I° vor, die in 3 Fällen eine Fraktur (2x Felsenbeinfraktur, 1x Kalottenfraktur) aufwiesen. In 4 Fällen war der neurologische Zustand der Patienten bei primär unauffälligem cCT nicht zu erklären, so dass in der subakuten Phase eine MRT-Untersuchung durchgeführt wurde. Hier wurden bei zwei Patienten Balkenläsionen und bei je einem Patienten multiple kleine Kontusionsherde sowie multiple Rindenprellungsherde nachgewiesen. Von den 65 Patienten mit unauffälligem primären cCT waren 49 Patienten entweder am Unfallort oder im primär versorgenden Krankenhaus intubiert worden.

Eine Frontobasisfraktur und eine Felsenbeinfraktur wurden erst aufgrund einer engschichtigen Nachuntersuchung im HR-Modus diagnostiziert.

Bei 42,11% der Patienten (n=48) wurde innerhalb des Standard-Untersuchungsschemas eine CT des Mittelgesichts durchgeführt. Bei 8 Patienten konnte keine Verletzung nachgewiesen werden. In 30 Fällen lag eine komplexe laterale oder zentrolaterale Mittelgesichtsfraktur vor. In 10 Fällen fand sich eine Einzelfraktur wie z.B. eine Unterkieferfraktur. Eine sofortige operative Versorgung war in 15% der Fälle (n=7) erforderlich. In den übrigen Fällen erfolgte eine operative Versorgung aufgrund der Gesamtsituation der Patienten erst zu einem späteren Zeitpunkt.

## CT-Diagnosen im Bereich des Schädels und therapeutische Konsequenzen

Diagnose	richtig-positiv	richtig-negativ	falsch-positiv	falsch-negativ	OP
Intrakranielle Traumafolgen	49	61	0	4	18
Kalottenfrakturen	19	93	0	2	
Mittelgesichtsfrakturen	40	8	0	0	7
<b>Summe</b>	108	162	0	6	25

Diagnosen bezogen auf die Anzahl der Patienten, d.h., bei einzelnen Patienten sind auch mehrere Diagnosen möglich

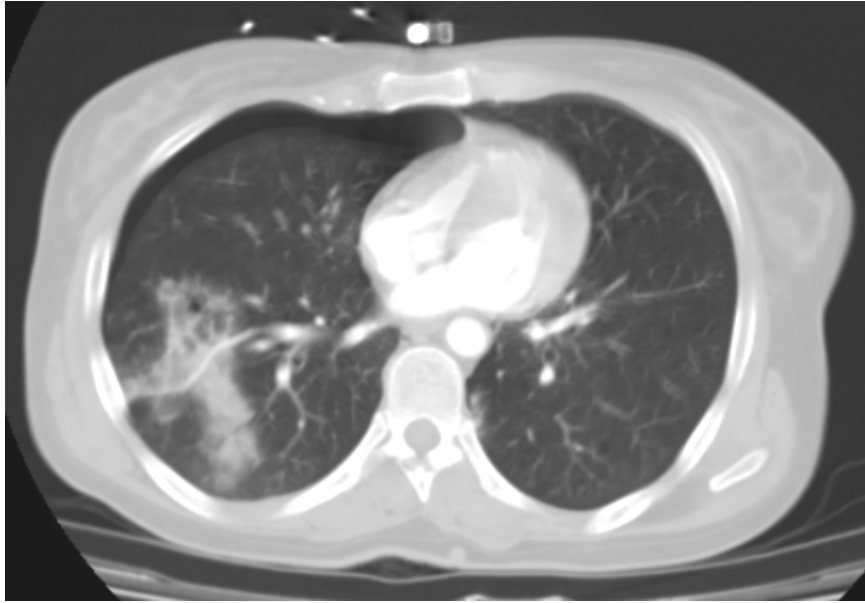
Tabelle 1

Für die initiale cCT-Untersuchung ergibt sich somit ein Gesamtspezifität von 100% und eine Gesamtsensitivität von 95%.

### 3.1.2 Thorax

Bei 21% der Patienten (n=24) war die Untersuchung des Thorax ohne pathologischen Befund.

Die häufigste intrathorakale Verletzung lag in Form von Lungenkontusionen vor (50%, n=57), davon in 24 Fällen beidseitig. Als mittel bis schwer ausgeprägt wurden die Veränderungen bei 25 dieser Patienten (44%) eingeschätzt, hiervon 13-mal beidseitig. Bei 16 Patienten hatte die in der CT gesehene Ausprägung der Lungenkontusion einen direkten Einfluss auf die Wahl der Operationstechnik bezüglich der Stabilisierung von Extremitätenverletzungen. In diesen Fällen wurde auf eine primäre intramedulläre Nagelung verzichtet.



**Abb. 6: Lungenkontusion und ventraler Pneumothorax rechts**

Bei 42% der Patienten (n=48) lag ein Pneumothorax vor, in 11 Fällen beidseitig. In 15% aller Fälle bzw. bei 35% der Patienten mit nachgewiesenem Pneumothorax (n=17) lag ein ausschließlich ventral gelegener Pneumothorax vor, in 2 Fällen beidseits. Davon erforderten 9 die sofortige Anlage einer Thoraxdrainage.

Ein Hämato-pneumothorax lag bei 11% der Patienten (n=13) vor, bei 5 Patienten beidseitig. In 7 Fällen war die sofortige Anlage einer Thoraxdrainage erforderlich. Ein Hämatothorax fand sich in 4 Fällen, bei einem Patienten beidseitig. Die sofortige Anlage einer Thoraxdrainage war in 2 Fällen notwendig, bei einem Patienten erfolgte zusätzlich eine Operation zur Blutstillung innerhalb der ersten 24 Stunden. Bei 5 Patienten fand sich ein jeweils nicht therapiebedürftiger Pleuraerguß, 2-mal beidseitig.

Eine Atelektase war bei 24% der Verunfallten (n=27) nachweisbar, 4-mal beidseitig.

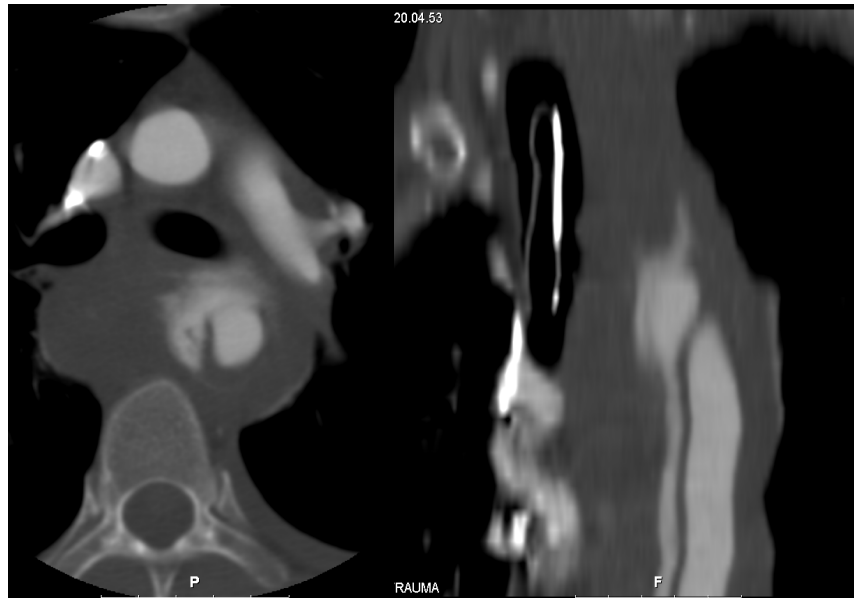
In 10 Fällen führte die Aufdeckung einer intraparenchymalen Fehllage einer Thoraxdrainage zu einer sofortigen Lagekorrektur.

Des Weiteren wurden eine Laceration und ein Bronchuseinriss, der bronchoskopisch bestätigt wurde, gefunden.

Dreimal wurde eine Zwerchfellruptur diagnostiziert, die sich jeweils bei der nachfolgenden Operation bestätigte.

In 3 Fällen wurde der Verdacht auf eine traumatische Aortendissektion gestellt, die jedoch nur in 2 Fällen eine operative Konsequenz erforderte. Die

Verlaufsuntersuchung des dritten Patienten zeigte eine Thrombosierung des kleinen und kurzstreckigen Lumens. Falsch negative Befunde wurden hier nachträglich nicht erhoben.



**Abb. 7: traumatische Aortendissektion**

Des Weiteren wurden in einem Fall ein posttraumatischer Perikarderguß und in einem weiteren Fall ein Pneumomediastinum diagnostiziert.

Eine Rippenserienfraktur fand sich bei 32,46% der Patienten (n=37), in 10 Fällen beidseitig. Frakturen einzelner Rippen fanden sich in 16 Fällen. Bei 6 Patienten wurde eine Sternumfraktur diagnostiziert. Bei 23 Patienten konnte eine Verletzung des Schultergürtels mit erfasst werden, 16-mal war hierbei die Scapula (3-mal mit Beteiligung des Glenoids) und 12-mal die Clavicula betroffen. In einem Fall zeigte sich eine Ruptur der Arteria axillaris mit einer aktiven Blutung.

In keinem Fall wurde im weiteren Verlauf eine das Lungenparenchym, das Mediastinum oder das Zwerchfell betreffende zusätzliche Diagnose erhoben. Bei 7,02% der Patienten (n=8) ergab sich aus den nachfolgenden konventionellen Aufnahmen ein abweichender Befund bezüglich der diagnostizierten Rippenserienfrakturen. Die Scapulafrakturen, insbesondere die mit Beteiligung des Glenoids, wurden vollständig erfasst.



## CT-Diagnosen im thorakalen Bereich und therapeutische Konsequenzen

Diagnosen	richtig-positiv	Davon beidseits	richtig-negativ	falsch-positiv	falsch-negativ	OP/ Drainage
Lungenkontusionen	57	24	57	0	0	
Ventraler Pneumothorax	17	2	97	0	0	9
Hämatopneumothorax	13	5	101	0	0	7
Pneumothorax	18	4	96	0	0	10
Hämatothorax	4	1	110	0	0	3
Pleuraerguss	5	2	109	0	0	
Atelektase	27	4	87	0	0	
Thoraxdrainagenfehl- lage	10	1	nicht erfasst	0	0	9
Zwechfellruptur	3		111	0	0	3
Lazeration	1		113	0	0	1
Bronchuseinriss	1		113	0	0	1
Aortendissektion	3		111	0	0	2
Sternumfraktur	6		108	0	0	
Claviculafraktur	12		102	0	0	
Scapulafraktur	16		98	0	0	
<b>Summe</b>	<b>193</b>	<b>53</b>	<b>1413</b>			<b>45</b>

Diagnosen bezogen auf die Anzahl der Patienten, d.h., bei einzelnen Patienten sind auch mehrere Diagnosen möglich

Tabelle 2

Es besteht somit eine vollständige Erfassung aller tatsächlichen Diagnosen ohne falsch positive oder falsch negative Ergebnisse.

### 3.1.3 Abdomen

Bei 53,5% der Patienten (n=61) war die Computertomographie des Abdomens ohne pathologischen intra- oder retroperitonealen Befund. Insgesamt fanden sich in der Computertomographie des Abdomens 70 Verletzungen bei 53 Patienten. Bei 13 Patienten lag eine intraabdominelle Mehrfachverletzung vor.

Bei 17% der Verunfallten (n=19) wurde eine Läsion der Leber diagnostiziert. Bei 12 Patienten handelte es sich um ein Hämatom der Leber ohne operative

therapeutische Konsequenz. In einem Fall erfolgte die Operation bei sekundärer Blutung. Bei 7 Patienten wurde ein Einriss des Leberparenchyms diagnostiziert, der in 5 Fällen der operativen Blutstillung bedurfte. In einem Fall stellte sich dabei intraoperativ zusätzlich ein zuvor nicht gesehener Einriss des Mesocolon transversum dar. In einem Fall kam es bei einer primär unauffälliger Abdomen-CT zu einer operationspflichtigen sekundären Leberruptur. Auch retrospektiv in Kenntnis der Läsionslokalisation stellte sich die Leber computertomographisch unauffällig dar. 21% der Patienten (n=24) wiesen computertomographisch eine Läsion der Milz auf. Bei 13 Patienten handelte es sich um ein Hämatom der Milz ohne primäre operative therapeutische Konsequenz. In 2 dieser Fälle kam es zu einer zweizeitigen, OP-pflichtigen Milzruptur. Die Milz eines dieser Patienten wies in der CT-Untersuchung bei deutlich reduziertem Herz-Zeit-Volumen eine inhomogene KM-Phase auf, so dass computertomographisch zu einer Parenchymläsion nicht Stellung genommen werden konnte. Bei 11 Patienten wurde ein Einriss des Milzparenchyms diagnostiziert, in einem Fall mit Nachweis einer aktiven Blutung. Bei 10 dieser Patienten erfolgte die sofortige Operation. In einem Fall wurde intraoperativ bei dem Vorliegen einer Milzruptur zusätzlich ein Einriss des Mesocolon transversum festgestellt.



**Abb. 8: Lebereinriss und Milzeinris mit aktiver Blutung**

Bei 7% der Verunfallten (n=8) wurde eine Nierenläsion diagnostiziert, es handelte sich um 1 Hämatom und 7 Nierenkontusionen. Eine Nebenniereneinblutung fand sich in 3 Fällen, dabei zweimal mit Nachweis eines aktiven Kontrastmittelaustritts. In diesen beiden Fällen wurde die Indikation zur operativen Blutstillung gestellt.



**Abb. 9: aktive Nebennierenblutung**

Bei 4 Patienten ließen sich Gefäßläsionen mit Nachweis eines aktiven Kontrastmittelaustritts nachweisen. In einem Fall handelte es sich um einen Einriss der V.renalis, zweimal um den Einriss eines Mesenterialgefäßes und einmal lag ein Einriss einer unteren Polararterie der Niere vor, welche interventionsradiologisch mittels Embolisation verschlossen werden konnte. In 3 Fällen erfolgte die operative Blutstillung. In einem Fall bestätigte sich der Verdacht auf eine Gefäßläsion nicht, intraoperativ lag lediglich noch ein mesenteriales Hämatom vor. Bei einem Patienten wurde in einer CT-Kontrolluntersuchung weniger als 24 Stunden nach primärem CT eine aktive Blutung im Bereich der A.mes.sup. nachgewiesen. Auch retrospektiv kam die A.mes.sup. in der primären CT unauffällig zur Darstellung.



**Abb. 10: mesenteriale Blutung**

In 5 Fällen wurde bei dem Nachweis freier Luft der Verdacht auf eine Hohlorganperforation gestellt, welcher in allen Fällen intraoperativ bestätigt wurde. Bei den Läsionen handelte es sich um eine Magenperforation, eine Duodenal- und eine Dünndarmläsion sowie um zwei Rektumläsionen. In einem Fall war bei massiver Einblutung im kleinen Becken eine intraoperativ gefundene Verletzung des Rektums computertomographisch zuvor nicht gesehen worden. In einem weiteren Fall wurde intraoperativ zusätzlich eine Kolonruptur diagnostiziert, für die in der computertomographischen Untersuchung kein Anhalt vorlag. Der Patient war aufgrund progredienter freier Flüssigkeit bei zweizeitiger Milzruptur operationspflichtig geworden.

Bei einem Patienten mit Bauchdeckenperforation konnte der Fremdkörper (Gummibremspedal) erst postoperativ nach Angabe der genauen Lokalisation durch den Operateur und spezieller Fenstereinstellung in der primären CT-Untersuchung nachgewiesen werden.

In 2 Fällen fand sich ein ausgedehntes retroperitoneales Hämatom ohne operative Konsequenz.

Freie Flüssigkeit mit Nachweis einer Organläsion fand sich bei 28 Patienten. Bei 7 Patienten erfolgte der Nachweis freier Flüssigkeit ohne gleichzeitigen Nachweis einer Organ- oder Gefäßläsion. In keinem dieser Fälle ergab sich im Verlauf eine OP-Indikation.

#### CT-Diagnosen im abdominellen Bereich und therapeutische Konsequenzen

Diagnosen	richtig-positiv	richtig-negativ	falsch-positiv	falsch-negativ	OP
Leberläsion	19	94	0	1	5
Milzläsion	24	89	0	1	11
Nierenläsion	8	106	0	0	
Nebennierenläsion	3	111	0	0	2
Harnblasenverletzung	1	113	0	0	1
Gefäßläsion	4	109	1	0	3
Hohlorganperforation	5	107	0	2	7
Freie Flüssigkeit mit Organläsion	28	86	0	0	
Freie Flüssigkeit ohne Organläsion	7	107	0	0	
Mesocoloneinriß	0	112	0	2	
<b>Summe</b>	99	1034	1	6	29

Diagnosen bezogen auf die Anzahl der Patienten, d.h., bei einzelnen Patienten sind auch mehrere Diagnosen möglich

Tabelle 3

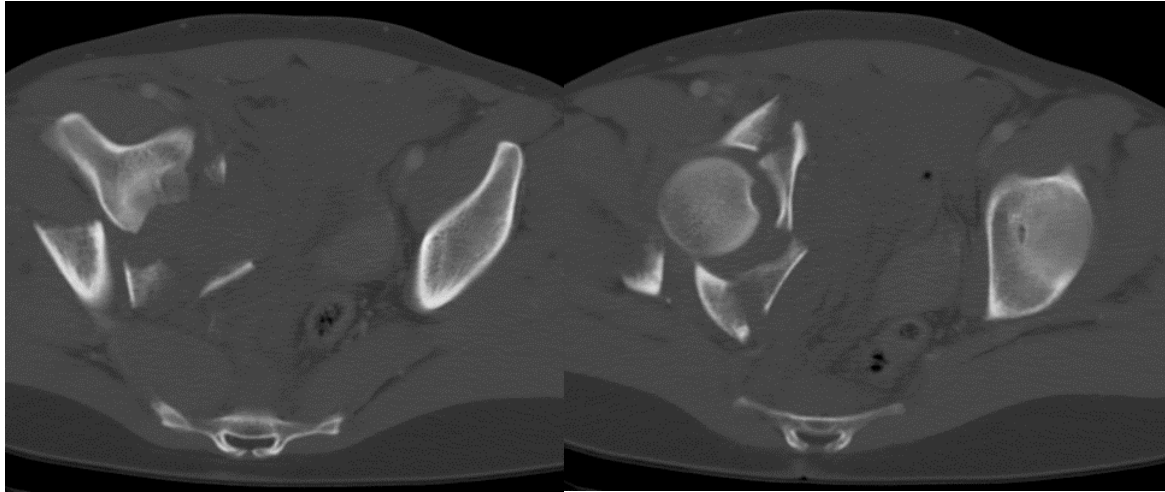
Daraus ergeben sich insgesamt für die Computertomographie hinsichtlich der Erfassung intraabdomineller Verletzungen eine Sensitivität von 94,3% und eine Spezifität von 99,9%.

#### 3.1.4 Becken

Bei 54% der Verunfallten (n=62) kam das Beckenskelett unauffällig zur Darstellung.

46% der Patienten (n=52) zogen sich eine Verletzung des Beckens zu.

Eine vordere Beckenringverletzung fand sich bei 35% der Patienten (n=40), eine Verletzung des hinteren Beckenrings lag in 32% der Fällen (n=36) vor. Insgesamt fand sich bei 20% der Verunfallten eine Acetabulumfraktur (n=23), davon in 5 Fällen beidseitig. Bei 8 Patienten handelte es sich um eine isolierte Verletzung des Acetabulums.



**Abb. 11: Fraktur vorderer und hinterer Pfeiler**

In 5 Fällen fand sich eine Sprengung der Symphyse und der Sakroiliakalgelenke ohne Nachweis einer knöchernen Begleitverletzung. In 3 Fällen wurde eine Fraktur des proximalen Femurs miterfasst. Eine Verletzung des Beckens mit Beteiligung des vorderen und hinteren Beckenrings lag bei 28% der Verunfallten (n=32) vor. Eine sofortige OP-Indikation bestand insgesamt in 4 Fällen.

#### **CT-Diagnosen im Bereich des Beckens und therapeutische Konsequenzen**

<b>Diagnose</b>	<b>richtig-positiv</b>	<b>richtig-negativ</b>	<b>falsch-positiv</b>	<b>falsch-negativ</b>	<b>OP</b>
Acetabulum-fraktur	23	205	0	0	
Vordere Beckenring-verletzung	40	74	0	0	4
Hintere Beckenring-verletzung	37	77	0	0	4
Summe	100	356	0	0	

Diagnosen bezogen auf die Anzahl der Patienten, d.h., bei einzelnen Patienten sind auch mehrere Diagnosen möglich

Tabelle 4

Im Verlauf zeigten sich keine Diagnoseänderungen der im Bereich des Beckens erhobenen Befunde, so dass von einer vollständigen Erfassung aller tatsächlichen Diagnosen ohne falsch positive oder falsch negative Ergebnisse auszugehen ist.

### 3.1.5 Wirbelsäule

#### 3.1.5.1 Halswirbelsäule

Bei 88% Patienten (n=100) kam die Halswirbelsäule unauffällig zur Darstellung. In einem Fall wurde hier eine Schildknorpelfraktur nachgewiesen.

Insgesamt fanden sich bei 14 Patienten 19 Verletzungen der Halswirbelsäule.

Die Verletzungen der Halswirbelsäule waren zum überwiegenden Anteil im Bereich des craniocervikalen oder des cervicothorakalen Überganges lokalisiert. Eine Fraktur des Atlasbogens lag in 2 Fällen vor, wobei es sich in einem Fall lediglich um eine kleine knöcherne Aussprengung handelte. Bei 4 Patienten fand sich eine Densfraktur oder Frakturen des Corpus axis.

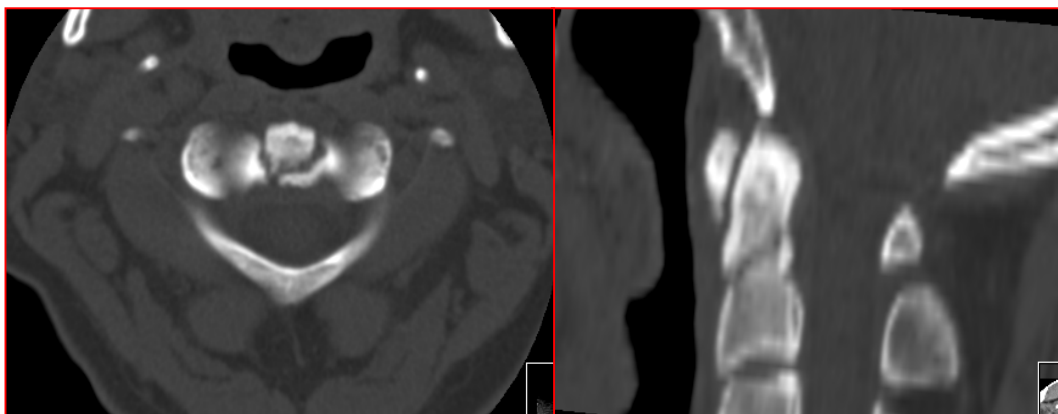


Abb. 12: Densfraktur

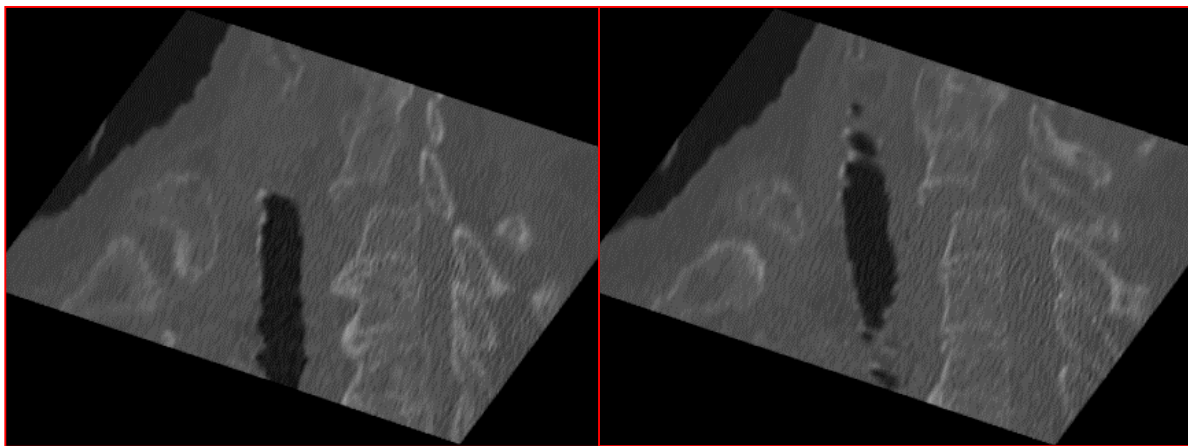
4 Patienten erlitten eine Fraktur des 6. oder 7. Halswirbelkörpers. In einem Fall wurde bei gleichzeitigem Vorliegen einer beidseitigen Bogenfraktur von HWK 6 und einer Fraktur von HWK 7 die Indikation zur sofortigen operativen Stabilisierung gestellt. In einem weiteren Fall lag eine Luxation im Segment HWK 4/5 vor, die ebenfalls sofort operativ stabilisiert wurde. Bei 3 weiteren Patienten fanden sich Quer- und Dornfortsatzfrakturen von HWK 6 und 7.

#### 3.1.5.2 Brustwirbelsäule

Bei 86% der Patienten (n=98) kam die Brustwirbelsäule unauffällig zur Darstellung.

Im Bereich der Brustwirbelsäule wurden bei 16 Patienten 48 Verletzungen gefunden. Es handelte sich hierbei um 10 Wirbelkörperfrakturen, von denen zwei als instabil eingestuft wurden. Bei einem Patienten lag eine gleichzeitige Luxation vor. Eine sofortige operative Stabilisierung erfolgte in keinem Fall. Zusätzlich wurden 38 Dorn- oder Querfortsatzfrakturen diagnostiziert.

Bei 100% der Patienten (n=16) mit einer Fraktur im Bereich der Brustwirbelsäule lagen gleichzeitig intrathorakale Verletzungen vor.



**Abbildung 13: Luxationsfraktur**

### **3.1.5.3 Lendenwirbelsäule**

Bei 75% der Patienten (n=86) kam die Lendenwirbelsäule unauffällig zur Darstellung. Bei 28 Patienten fanden sich insgesamt 58 Verletzungen im Bereich der Lendenwirbelsäule. Hierbei handelte es sich um 18 Wirbelkörperfrakturen, in 4 Fällen lag lediglich eine Vorderkantenfraktur vor. Eine sofortige operative Stabilisierung war in 5 Fällen indiziert. In einem Fall kam es zu einer Subluxation in Höhe LWK 1/2. Zusätzlich wurden 39 Dorn- oder Querfortsatzfrakturen diagnostiziert.

Bei 57% der Patienten (n=16) mit einer Fraktur im Bereich der Lendenwirbelsäule lag eine gleichzeitige intra- oder retroperitoneale Verletzung vor.

Bei 7 Patienten mit Frakturen im Bereich der Wirbelsäule waren mehrere Etagen betroffen.



### CT-Diagnosen im Bereich der Wirbelsäule und therapeutische Konsequenzen

Diagnose	richtig-positiv	richtig-negativ	falsch-positiv	falsch-negativ	OP
HWS Wirbelkörper- oder -bogenfrakturen	11	787	0	0	1
HWS Luxation	1	113	0	0	1
BWS Wirbelkörper- oder -bogenfrakturen	10	1358	0	0	
BWS Luxation	1	113	0	0	
LWS Wirbelkörper- oder -bogenfrakturen	18	552	0	0	5
LWS Subluxation	1	113	0	0	
<b>Summe</b>	<b>42</b>	<b>3036</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>

Diagnosen bezogen auf die Anzahl der Patienten, d.h., bei einzelnen Patienten sind auch mehrere Diagnosen möglich

Tabelle 5

Im Verlauf zeigten sich keine Diagnoseänderungen der im Bereich der Wirbelsäule erhobenen Befunde, so dass von einer vollständigen Erfassung aller tatsächlichen Diagnosen ohne falsch positive oder falsch negative Ergebnisse auszugehen ist.

### **3.2 Nicht polytraumatisierte Patienten**

In der retrospektiven Auswertung wurden 220 (65,87%) der Patienten als nicht polytraumatisiert eingestuft (siehe Kapitel 2.1.4).

#### **3.2.1 Schädel-Hirn-Trauma und Mittelgesichtsverletzung**

Bei 69,54% der Verunfallten (n=153) war die cCT-Untersuchung unauffällig. 29,09% der Patienten (n=64) erlitten ein Schädelhirntrauma mit pathologischem, posttraumatischem intrakraniellen Befund. Bei 19 Patienten lag eine zusätzliche Fraktur vor und in 2 Fällen fand sich eine Felsenbeinfraktur ohne intrakranielle Begleitverletzung. Insgesamt wurde bei 22 Patienten die sofortige Indikation zu einer operativen Therapie einer intrakraniellen Blutung und / oder einer Fraktur gestellt. Bei 38 Patienten erfolgte die zusätzliche Untersuchung des Mittelgesichtes. In 31 Fällen wurde eine komplexe laterale und / oder zentrale Mittelgesichtsfraktur diagnostiziert. Eine Einzelfraktur, wie z.B. eine isolierte Unterkieferfraktur fand sich in 17 Fällen.

#### **3.2.2 Thorax**

Bei 70% der Patienten (n=153) war die Untersuchung des Thorax ohne pathologischen Befund.

Die häufigste intrathorakale Verletzung lag in Form von Lungenkontusionen vor (17%, n=37). Bei 8% der Patienten (n=18) lag ein Pneumothorax oder ein Hämatothorax vor. Hier war in 9 Fällen die Anlage einer Thoraxdrainage erforderlich. Bei 2 Patienten wurde ein Hämatothorax diagnostiziert, in einem Fall erfolgte hier die Anlage einer Thoraxdrainage. Eine Atelektase war bei 14 Patienten nachweisbar. Zusätzlich wurde eine Thoraxdrainagenfehlage nachgewiesen, die sofort korrigiert wurde.

Rippenserienfrakturen fanden sich bei 17 Patienten, in 22 Fällen wurden Frakturen einzelner Rippen diagnostiziert. 4 Verunfallte erlitten eine Sternumfraktur und 3 eine Skapulafraktur. In einem Fall wies diese auch eine Gelenkflächenbeteiligung auf.

### **3.2.3 Abdomen**

Bei 92% der Patienten (n=203) war die CT des Abdomens ohne pathologischen Befund. Insgesamt fanden sich 27 Verletzungen bei 17 Patienten.

Es wurden 6 Leberkontusionen, ein Lebereintriss und 6 Milzkontusionen jeweils ohne therapeutische Konsequenz sowie 3 operationspflichtige Milzeintrisse diagnostiziert. In einem Fall kam es zu einer operationspflichtigen zweizeitigen Milzruptur bei primär CT-morphologisch unauffälliger Darstellung der Milz. Bei 9 der Verunfallten wurde eine Nierenkontusion nachgewiesen, die keine therapeutischen Konsequenzen erforderte. In jeweils einem Fall wurden eine OP-pflichtige Darmverletzung sowie eine Gefäßverletzung diagnostiziert. Bei 1 Patienten lag begleitend zu einer Organläsion freie intraabdominelle Flüssigkeit vor, bei 8 Patienten fand sich nur freie Flüssigkeit ohne Nachweis einer Organläsion.

### **3.2.4 Becken**

Bei 87% der Verunfallten (n=192) fand sich kein pathologischer Befund im Bereich des Beckens. Insgesamt fanden sich bei 28 Patienten 48 Verletzungen.

Eine vordere Beckenringverletzung fand sich bei 12% der Patienten (n=26), eine Verletzung des hinteren Beckenrings lag in 6% der Fälle (n=14) vor. Insgesamt fanden sich bei 5% der Verunfallten eine Acetabulumfraktur (n=11). Bei 6 Patienten handelte es sich um eine isolierte Verletzung des Acetabulums. Eine Verletzung des Beckens mit Beteiligung des vorderen und hinteren Beckenrings lag bei 6% der Verunfallten (n=13) vor, die in 5 Fällen einer sofortigen operativen Stabilisierung bedurfte.

### **3.2.5 Wirbelsäule**

#### **3.2.5.1 Halswirbelsäule**

Bei 94% der Verunfallten (n=206) war die CT der HWS unauffällig.

Im Bereich der HWS fanden sich bei 14 Patienten 18 Verletzungen. Hierbei handelte es sich um 7 Wirbelkörperfrakturen, 3 Bogenfrakturen, 3 Luxationen bzw.

Subluxationen und 5 Verletzungen der Dorn- oder Querfortsätze. Eine Indikation zur sofortigen operativen Stabilisierung wurde in 2 Fällen gesehen.

#### **3.2.5.2 Brustwirbelsäule**

Bei 92% der Patienten (n=203) war die BWS in der Computertomographie unauffällig.

Im Bereich der BWS fanden sich bei 17 Patienten 21 Verletzungen. Hierbei handelte es sich um 13 Wirbelkörperfrakturen, 1 Bogenfraktur und 7 Verletzungen der Dorn- oder Querfortsätze. Eine Indikation zur sofortigen operativen Stabilisierung wurde in 5 Fällen gesehen.

Bei 2 Patienten mit einer Querfortsatzfraktur und 3 Patienten mit einer Wirbelkörperfraktur lag eine gleichzeitige intrathorakale Verletzung vor.

#### **3.2.5.3 Lendenwirbelsäule**

Bei 91% der Verunfallten (n=200) war die LWS in der Computertomographie unauffällig.

Im Bereich der LWS fanden sich bei 20 Patienten 23 Verletzungen. Hierbei handelte es sich um 13 Wirbelkörperfrakturen, 1 Bogenfraktur und 10 Verletzungen der Dorn- oder Querfortsätze. Eine Indikation zur sofortigen operativen Stabilisierung wurde in 4 Fällen gesehen.

In einem Fall bestätigte sich der in der Sekundärrekonstruktion geäußerte Verdacht auf eine Wirbelkörperluxation nicht.

Bei 2 Patienten mit Querfortsatzfrakturen lag eine gleichzeitige intraabdominelle Verletzung vor.

Insgesamt fanden sich bei 26 Patienten Wirbelkörperluxationen sowie Wirbelkörper- oder Wirbelbogenfrakturen, in 5 Fällen waren mehrere Wirbelsäulenetagen betroffen.

### 3.3 Vergleich der beiden Gruppen

#### 3.3.1 Schädel-Hirn-Trauma und Mittelgesichtsverletzungen

In der Gruppe der polytraumatisierten Patienten lag der Anteil der primär unauffälligen cCT bei 54% (n=62). Dem gegenüber stehen 70% (n=153) in der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten. Ein Schädel-Hirn-Trauma mit einem pathologischen, posttraumatischen intrakraniellen Befund lag insgesamt bei 33% der Verunfallten (n=113) vor. Hierbei lag der Anteil in der Gruppe der polytraumatisierten Patienten bei 43% (n=49) und in der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten bei 29% (n=64). In der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten entfielen hier alleine 86% (n=55) der Schädel-Hirn-Traumata auf die Patienten mit einem isolierten schweren Schädel-Hirn-Trauma. Dies macht einen Gesamtanteil von 25% der Patienten in dieser Gruppe aus.

In der Gruppe der polytraumatisierten Patienten erfolgte bei 42% der Verunfallten (n=48) eine zusätzliche Untersuchung des Mittelgesichtes, in 62% der Fälle (n=30) lag hierbei eine laterale und / oder zentrale Mittelgesichtsfraktur vor. Dies entspricht 26% aller polytraumatisierter Patienten. In der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten lag der Prozentsatz der zusätzlichen Untersuchungen des Mittelgesichtes bei 17%. Hierbei lag in 82% der Fälle (n=31) eine laterale und / oder zentrale Mittelgesichtsfraktur vor. Dies entspricht 14% aller nicht polytraumatisierter Patienten.

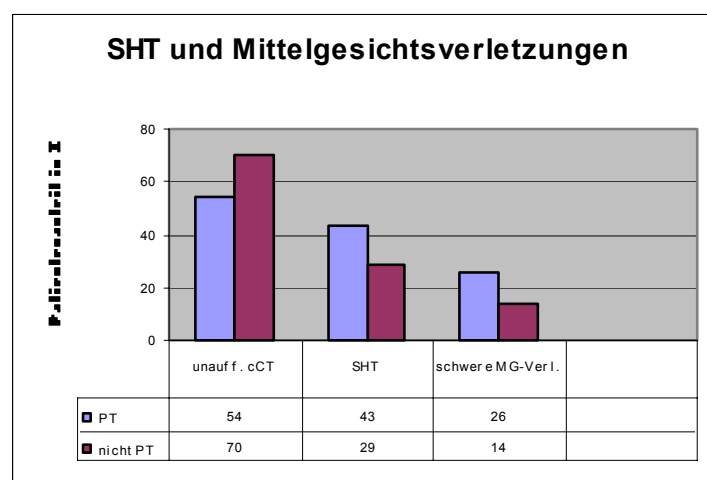
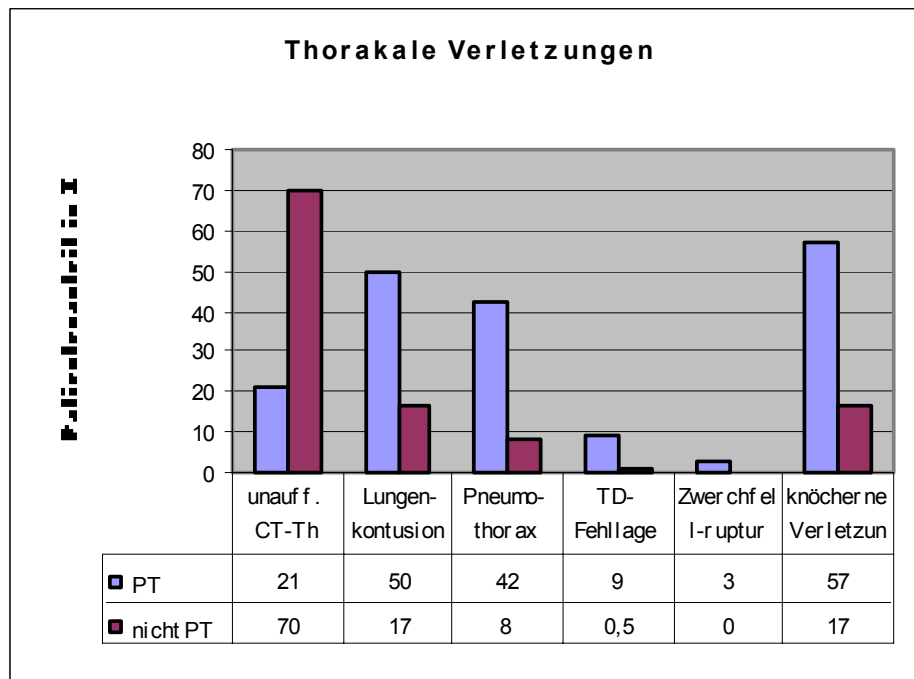


Abb. 14: Ergebnisse cCT und CT-MG im Vergleich

### 3.3.2 Thorax

In der Gruppe der polytraumatisierten Patienten lag der Anteil der unauffälligen CT-Untersuchungen bei 21% der Verunfallten (n=24), in der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten lag dieser Wert bei 70% (n=153). Dieser Unterschied in der Häufigkeit der Thoraxbeteiligung am Gesamtverletzungsmuster spiegelt sich auch im Bereich der Einzelverletzungen wieder. Eine Lungenkontusion lag bei 50% der polytraumatisierten Patienten (n=57) vor und bei 17% der nicht polytraumatisierten Patienten (n=37). Ein Pneumothorax oder ein Hämato-pneumothorax wurde bei 42% der polytraumatisierten Patienten (n=48) und bei 8% der nicht polytraumatisierten Patienten (n=18) diagnostiziert. Eine Zwerchfellruptur, eine Aortendissektion oder einen Bronchuseinriss fanden sich ausschließlich in der Gruppe der polytraumatisierten Patienten. Eine knöcherne Begleitverletzung des Thoraxskeletts (ohne Wirbelsäule) oder des Schultergürtels fand sich bei 57% der polytraumatisierten (n=65) und bei 17% der nicht polytraumatisierten Patienten (n=37).

Eine operative Versorgung einer intrathorakalen Verletzung erfolgte bei 6 Patienten der polytraumatisierten Patienten. Bei den nicht polytraumatisierten Patienten fand sich keine OP-pflichtige Verletzung. Die Anlage einer Thoraxdrainage unmittelbar im Anschluss an die CT-Diagnostik erfolgte bei 33% der polytraumatisierten Patienten (n=37) und bei 5% der nicht polytraumatisierten Patienten (n=11).



**Abb. 15: Ergebnisse der CT des Thorax im Vergleich**

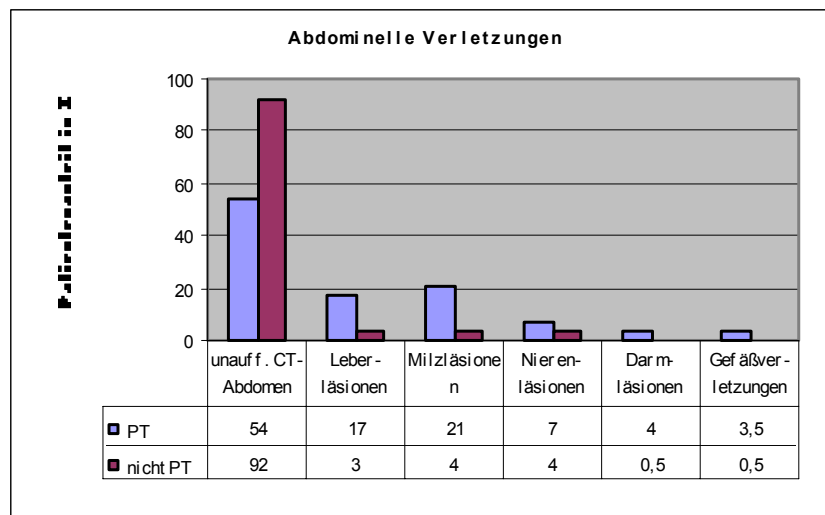
### 3.3.3 Abdomen

In der Gruppe der polytraumatisierten Patienten lag der Anteil der unauffälligen CT-Untersuchungen des Abdomens bei 54% der Fälle (n=61), in der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten lag dieser Wert bei 92% (n=203). Dieser Unterschied in der Häufigkeit der Beteiligung des Abdomens am Gesamtverletzungsmuster spiegelt sich auch im Bereich der Einzelverletzungen wieder. Zahlenmäßig am Häufigsten lag in der Gruppe der polytraumatisierten Patienten mit 21% eine Verletzung der Milz vor (n=24), in der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten war die Milz in 4% der Fälle (n=9) betroffen. In der Gruppe der polytraumatisierten Patienten waren 50% der Milzläsionen (n=12) operationspflichtig, 2 aufgrund einer zweizeitigen Ruptur. In der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten lag der Anteil der operationspflichtigen Milzverletzungen bei 44% (n=4), in einem Fall lag eine zweizeitige Ruptur vor. Eine Leberläsion lag bei 17% der polytraumatisierten Patienten (n=19) und bei 3% der nicht polytraumatisierten Patienten (n=7) vor. 32% der Leberläsionen (n=6) bei polytraumatisierten Patienten waren operationspflichtig, keiner der nicht polytraumatisierten Patienten musste aufgrund einer Leberläsion operiert werden. 7% der polytraumatisierten Patienten (n=8) und 4% der nicht

polytraumatisierten Patienten (n=9) erlitten eine Nierenläsion. Eine Nebennierenläsion fand sich lediglich in der Gruppe der polytraumatisierten Patienten. Eine Darmläsion wurde in 4% der polytraumatisierten Patienten (n=5) und 0,5% der nicht polytraumatisierten Patienten (n=1) diagnostiziert. Bei 3,5% der polytraumatisierten Patienten (n=4) und bei 0,5% der nicht polytraumatisierten Patienten fand sich eine Gefäßläsion.

Bei 6% der polytraumatisierten Patienten (n=7) und bei 4% der nicht polytraumatisierten Patienten fand sich lediglich freie Flüssigkeit ohne den CT-morphologischen Nachweis einer intraabdominellen Verletzung.

Eine Verletzung der Pankreas trat in keiner der beiden Gruppen auf, weder in der primären Diagnostik noch im weiteren Verlauf.

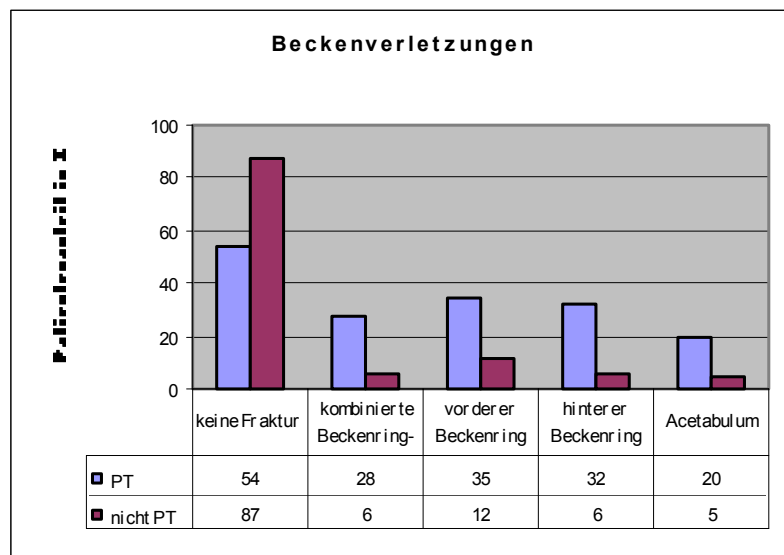


**Abb. 16: Ergebnisse der CT des Abdomens im Vergleich**



### 3.3.4 Becken

In der Gruppe der polytraumatisierten Patienten lag der Anteil der unauffälligen CT-Untersuchungen des knöchernen Beckens bei 54% der Fälle (n=62), in der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten lag dieser Wert bei 87% (n=192). Eine Beteiligung des vorderen Beckenrings lag bei 35% der polytraumatisierten Patienten (n=40) und bei 12% der nicht polytraumatisierten Patienten (n=26) vor. 32% der polytraumatisierten Patienten (n=36) wiesen eine Verletzung des hinteren Beckenrings auf. In der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten lag der Anteil bei 6% (n=14). Das Acetabulum war in 20% der Fälle (n=23) der polytraumatisierten Patienten und bei 5% der nicht polytraumatisierten Patienten (n=11) betroffen. Eine Beckenringverletzung mit Beteiligung des vorderen und hinteren Beckenringes wurde bei 28% der polytraumatisierten Patienten (n=32) diagnostiziert. In der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten lag dieser Wert bei 6% (n=13). Eine Indikation zur Operation unmittelbar im Anschluss an die CT-Diagnostik wurde bei 4 polytraumatisierten und 5 nicht polytraumatisierten Patienten gesehen.



**Abb. 17: Ergebnisse der CT des Beckens im Vergleich**

### **3.3.5 Wirbelsäule**

#### **3.3.5.1 Halswirbelsäule**

Bei 88% der polytraumatisierten Patienten (n=100) kam die Halswirbelsäule unauffällig zur Darstellung. In der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten betrug dieser Wert 94% (n=206). Eine Fraktur des Wirbelkörpers oder des Wirbelbogens sowie eine Luxation oder Subluxation erlitten 11% der polytraumatisierten Patienten (n=12) und 6% der nicht polytraumatisierten Patienten (n=13). Eine Fraktur von Dorn- oder Querfortsätzen wurde bei 3% der polytraumatisierten (n=3) und 2% der nicht polytraumatisierten Patienten (n=5) diagnostiziert.

#### **3.3.5.2 Brustwirbelsäule**

Bei 86% der polytraumatisierten Patienten (n=98) kam die Brustwirbelsäule unauffällig zur Darstellung. In der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten betrug dieser Wert 92% (n=203). Eine Fraktur des Wirbelkörpers oder des Wirbelbogens sowie eine Luxation oder Subluxation erlitten 10% der polytraumatisierten Patienten (n=11) und 6% der nicht polytraumatisierten Patienten (n=14). Eine Fraktur von Dorn- oder Querfortsätzen wurde bei 33% der polytraumatisierten (n=38) und 3% der nicht polytraumatisierten Patienten (n=7) diagnostiziert.

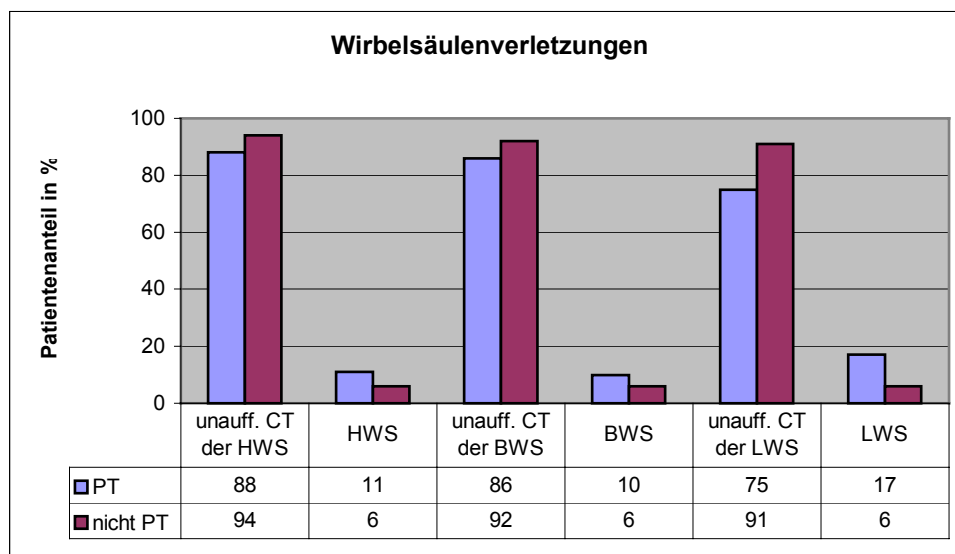
Bei allen polytraumatisierten Patienten mit einer Verletzung der Brustwirbelsäule wurde gleichzeitig eine intrathorakale Verletzung gefunden, jedoch nur bei zwei der nicht polytraumatisierten Patienten.

#### **3.3.5.3 Lendenwirbelsäule**

Bei 75% der polytraumatisierten Patienten (n=86) kam die Lendenwirbelsäule unauffällig zur Darstellung. In der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten betrug dieser Wert 91% (n=200). Eine Fraktur des Wirbelkörpers oder des Wirbelbogens sowie eine Luxation oder Subluxation erlitten 17% der

polytraumatisierten Patienten (n=19) und 6% der nicht polytraumatisierten Patienten (n=14). Eine Fraktur von Dorn- oder Querfortsätzen wurde bei 34% der polytraumatisierten (n=39) und 5% der nicht polytraumatisierten Patienten (n=10) diagnostiziert.

Bei 57% der polytraumatisierten Patienten (n=16) mit einer Verletzung der Lendenwirbelsäule wurde gleichzeitig eine abdominelle Verletzung gefunden, jedoch nur bei einem (n=1) der nicht polytraumatisierten Patienten.



**Abb. 18: Ergebnisse der CT der Wirbelsäule im Vergleich**

### 3.4 Zeiterfassung

Die mittlere Zeitdauer der CT-Diagnostik betrug 35 Minuten (+/- 9) vom Zeitpunkt des Eintreffens des Patienten im CT-Untersuchungsraum bis zum Verlassen. Die kürzesten Zeitangaben lagen bei 20 Minuten und die längste bei 50 Minuten. Mit Verlassen des CT-Untersuchungsraumes lag ein vorläufiger mündlicher Befund zur jeweiligen CT-Untersuchung vor. Ein wesentlicher Zeitunterschied zwischen der Gruppe der polytraumatisierten und der nicht polytraumatisierten Patienten fand sich nicht.

## 4 Diskussion

Die hohe diagnostische Aussagekraft der Computertomographie in bezug auf einzelne Körperregionen ist in der Literatur unbestritten (44, 56, 68, 78, 98). Für den Schädel ist sie die Methode der Wahl, um in der Akutphase intrakranielle Verletzungsfolgen aufzudecken (104). Die höhere Sensitivität und Spezifität der Diagnostik von Thorax und Abdomen gegenüber der konventionellen Thoraxaufnahme und der Sonographie des Abdomens sowie der Pleurahöhle ist in mehreren Studien belegt worden (26, 44, 95). Zur Abklärung der genauen Frakturklassifikation wird die Computertomographie von Wirbelkörpern, des Beckens und des Gesichtsschädels gefordert (56, 68, 75, 78, 97).

Bei polytraumatisierten Patienten geht man von einem vielfältigen, potentiell alle Körperregionen betreffenden und vital gefährdenden Verletzungsmuster aus. Für das Überleben der Patienten ist dabei sowohl die vollständige Erfassung des Verletzungsmusters als auch die Zeit, welche die Erfassung in Anspruch nimmt, von entscheidender Bedeutung (28).

Aufgrund der bekannten diagnostischen Vorteile der Computertomographie wurde im Unfallkrankenhaus Berlin ein neues Diagnostikkonzept für polytraumatisierte Patienten entwickelt und eingeführt. Dabei war entscheidend, dass bei der Planung und Erbauung des 1997 als Haus der Maximalversorgung eröffneten Unfallkrankenhauses Berlin den Forderungen nach einer engen räumlichen Beziehung von Schockraum und Radiologie, insbesondere der Computertomographie, Rechnung getragen wurde. Vom Schockraum aus besteht ein unmittelbarer Zugang zu einer komplett digitalisierten Notfallradiologie mit Spiral-CT. Als wichtige personelle Voraussetzung ist ein radiologischer Bereitschaftsdienst über 24 Stunden gewährleistet.

Das neu entwickelte Konzept sieht nach Ausschluss einer direkten OP-Indikation mittels Sonographie des Abdomens und entsprechender klinischer Untersuchung sowie nach primärer Stabilisierung des Patienten durch ein von einem erfahrenen Unfallchirurgen geleitetes Ärzteteam die primäre radiologische Diagnostik im CT vor. Auf eine vorherige konventionelle radiologische Diagnostik wird verzichtet.

#### **4.1 Schädel-Hirn-Trauma und Mittelgesichtsverletzung**

Die Computertomographie des Schädels ist in der Akutphase unbestritten die adäquate Methode zur Abklärung kranieller Verletzungsfolgen (62, 82, 84, 104). Alle Diagnosen, die eventuell einer direkten neurochirurgischen Intervention bedürfen, wie epi- oder subdurale Blutungen oder ausgeprägte Impressionsfrakturen, lassen sich zügig und mit großer Zuverlässigkeit in ihrer Ausprägung darstellen (18, 104). Durch den Einsatz der Computertomographie ließ sich die Letalität extraaxialer Blutungen um etwa 25% senken (22). In dem hier untersuchten Patientenkollektiv der 114 polytraumatisierten Patienten wurde in 16% der Fälle (37% der PT mit pathologischem intrakraniellen Befund) die Indikation zu einer sofortigen operativen Intervention gesehen. Regel beziffert den Anteil der OP-Indikationen in seiner Untersuchung auf 4,2% (79). Eine unmittelbar therapierelevante Blutung wurde in keinem Fall übersehen.

In der primären cCT-Diagnostik wurden eine Felsenbeinfraktur und eine Frontobasisfraktur nicht erfasst. Als Konsequenz wurde das Untersuchungsschema dahingehend erweitert, dass die Schädelbasis aller nachfolgenden, primär als polytraumatisiert eingestuften Patienten im HR-Modus nachrekonstruiert wurde.

Die in der Literatur beschriebene höhere Sensitivität der MRT in Bezug auf den Nachweis von Scherverletzungen oder kleinerer Kontusionsareale wurde in 4 Fällen bestätigt (104). Hier lag jeweils eine Diskrepanz zwischen einer unauffälligen cCT und dem auffälligen neurologischen Untersuchungsbefund vor.

Der Unterschied des prozentualen Anteils eines Schädel-Hirn-Traumas mit pathologischem intrakraniellen Befund in beiden Patientengruppen – 43% der polytraumatisierten Patienten und 29% der nicht polytraumatisierten Patienten (hiervon in 86% als isoliertes Schädel-Hirn-Trauma) – unterstreicht, dass ein schweres Schädel-Hirn-Trauma häufig in Kombination mit schweren Mehrfachverletzungen auftritt.

Gemessen an dem schweren Gesamtverletzungsmuster der polytraumatisierten Patienten erscheint eine Verletzung des Gesichtsschädels häufig verhältnismäßig trivial. Im weiteren Verlauf können aus diesen Verletzungen für den Patienten signifikante Einschränkungen wie Doppelbilder, Malokklusion oder Infektionen resultieren (22, 97).

Im Rahmen des hier vorgestellten Diagnostikkonzeptes stellt die Erweiterung der HWS-Spirale um den Gesichtsschädel keine wesentliche Zeitverzögerung der Gesamtdiagnostik dar, da der Patient hierfür nicht speziell gelagert werden muss und der zusätzliche Zeitaufwand für die Bildakquisition gering ist. Auch in der axialen Schnittführung lässt sich das Verletzungsmuster einer Gesichtsschädelverletzung nahezu vollständig erfassen. Die Einschränkungen in der Beurteilung des Orbitabodens und der Schädelbasis in der axialen Schichtführung ließ sich durch die Anfertigung von Sekundärrekonstruktionen nicht vollständig ausgleichen. Insgesamt stellt die Computertomographie des Mittelgesichtes auch in der Notfallsituation eine zeiteffiziente und zuverlässige Grundlage für die weitere Versorgung der Verletzungen dar, auch wenn sich in der Primärphase eher selten eine sofortige OP-Indikation ergibt (97). Weitere Verbesserungen in Bezug auf die Untersuchungszeit und die Qualität von Sekundärrekonstruktionen sind hier durch die Einführung der Multislice-Computertomographie zu erwarten.

In der untersuchten Patientengruppe der polytraumatisierten Patienten ergab sich lediglich in 15% der Fälle (n=7) eine sofortige OP-Indikation. Insgesamt erfolgte eine zusätzliche Untersuchung des Mittelgesichtes in 25,7% der Fälle. Dies unterstreicht die Wichtigkeit einer Indikationsstellung im Einzelfall.

## **4.2 Thorax**

Die höhere Sensitivität und Spezifität der Thoraxdiagnostik mittels Computertomographie gegenüber der konventionellen Thoraxübersichtsaufnahme ist insbesondere nach stumpfem Thoraxtrauma schon in mehreren Studien belegt worden (15, 26, 47, 77, 87, 95). Seit Einführung der Spiral-Computertomographie und der damit verbundenen Reduzierung der Untersuchungszeit wird zunehmend die Überlegung laut, bei entsprechender Klinik die kontrastmittelgestützte Spiral-Computertomographie des Thorax bei kreislaufstabilen polytraumatisierten Patienten als Standard einzuführen (27, 98).

Neben Verletzungen der Extremitäten und dem Schädel-Hirn-Trauma ist beim polytraumatisierten Patienten der Thorax am häufigsten betroffen (79). Trupka et al. beziffern den Anteil der erheblichen Thoraxverletzungen in ihrer Polytraumastudie auf 60% (95). Dies spiegelt sich auch in den Zahlen der vorliegenden Untersuchung

wieder. Hier war der Thorax bei 79% der polytraumatisierten Patienten betroffen. Eine Gewichtung der Schwere des Thoraxtraumas erfolgte nicht. In der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten, die eine deutlich geringere Verletzungsschwere boten, lag der Anteil der Thoraxverletzungen mit 30% wesentlich niedriger.

Einer der Vorteile der Spiral-Computertomographie des Thorax liegt in der signifikant besseren Aufdeckung intrathorakaler Verletzungen wie Lungenkontusionen, ventralen Pneumothoraces, Hämatothoraces, Drainagenfehlagen oder Zwerchfellrupturen (15, 47, 77, 95, 98).

Der Lungenkontusion, die in der Gruppe der polytraumatisierten Patienten in 50% der Fälle vorlag, kommt eine besondere Bedeutung für die Entwicklung einer posttraumatischen respiratorischen Insuffizienz und Wegbereitung entzündlicher Komplikationen zu (47, 95). Hier erfolgte im Rahmen der intensivmedizinischen Therapie eine entsprechende Modifizierung der Beatmungsmodalitäten sowie der Patientenlagerung. Bei 16 Patienten hatte die nachgewiesene Lungenkontusion einen entscheidenden Einfluss auf das operative Regime der Frakturstabilisierung wie unter anderem von Nast-Kolb et al. empfohlen (64). In den konventionellen Thoraxübersichtsaufnahmen sind gerade Lungenkontusionen nicht zu erkennen oder werden in ihrem wahren Ausmaß unterschätzt (87). Schild et al. wiesen in ihrer experimentellen Studie nach, dass im Vergleich zum Autopsiebefund die Größe der Läsionen in 5% der Fälle in der Computertomographie unterschätzt wurden und in 58% in den konventionellen Übersichtsaufnahmen. 25% der Kontusionen wurden anhand der Thoraxübersichtsaufnahmen nicht diagnostiziert. In der pathologischen Untersuchung wurden im Vergleich zu den computertomographischen Befunden keine neuen Läsionen aufgedeckt (87).

Eine weitere Komplikationsmöglichkeit, insbesondere bei beatmeten Patienten, stellen nicht aufgedeckte Pneumothoraces und die damit verbundene Gefahr der Entwicklung eines Spannungspneumothorax dar (22). Hier sind insbesondere ventral gelegene Pneumothoraces zu nennen, deren Detektion allein mit einer Thoraxübersichtsaufnahme häufig nicht gelingt. Wolfman et al. weisen darauf hin, dass nicht bei jedem Pneumothorax eine Thoraxdrainage angelegt werden muss (107). Ihrer Erfahrung nach ist bei diskreten Pneumothoraces ein abwartendes Procedere unter engmaschiger Kontrolle gerechtfertigt. Im Übrigen sehen sie

insbesondere bei geplanter Überdruckbeatmung die Indikation zur Anlage einer Thoraxdrainage.

Im hier untersuchten Patientenkollektiv der polytraumatisierten Patienten führte der Nachweis eines ventral gelegenen Pneumothorax in 9 Fällen zu einer sofortigen Anlage einer Thoraxdrainage. In 10 weiteren Fällen wurde die Fehllage einer Thoraxdrainage sofort korrigiert.

Die Fehllage von Thoraxdrainagen entgeht häufig bei alleiniger Betrachtung der Thoraxübersichtsaufnahmen. Baldt et al. beschreiben, dass bei Zustand nach notfallmäßiger Anlage einer Thoraxdrainage im Vergleich zur Computertomographie lediglich 7 von 20 Thoraxdrainagenfehllagen in der Thoraxübersichtsaufnahme erkannt wurden (3). Bei polytraumatisierten Patienten erfolgt die Anlage einer Thoraxdrainage häufiger unter Notfallbedingungen als bei Patienten mit einem weniger schwerwiegenden Verletzungsmuster. Dies zeigt auch der Unterschied von 10 zu einer Fehllage im Vergleich der polytraumatisierten mit den nicht polytraumatisierten Patienten.

In 10 Fällen erfolgte die Anlage einer Thoraxdrainage aufgrund eines Hämatothorax oder Hämato-pneumothorax.

Bei drei polytraumatisierten Patienten erfolgte die sofortige Operation einer Zwerchfellruptur. Zwar wurde in dem hier untersuchten Patientenkollektiv keine Zwerchfellruptur übersehen, jedoch ist die Diagnosefindung auch in der Computertomographie schwierig und bedarf der Anfertigung von Sekundärrekonstruktionen. Laut Murray et al. werden etwa zwei Drittel der posttraumatischen Zwerchfellrupturen nach stumpfem Trauma aufgedeckt, jedoch schwankt in seiner Studie die Angabe der Sensitivität der drei Untersucher deutlich und liegt im Mittel lediglich bei 61% (61).

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der kontrastmittelgestützten Computertomographie des Thorax liegt in der Darstellung der thorakalen Gefäße und ihrer möglichen posttraumatischen Veränderungen.

Eine Aortendissektion wurde bei 3 der polytraumatisierten Patienten vermutet und in 2 Fällen operativ bestätigt. In einem Fall zeigte die Verlaufskontrolle ein nicht interventionsbedürftiges intramurales Hämatom. Dies stützt die von anderen Autoren geäußerte Meinung, dass der Nachweis eines Dissekates (intima flap) auf den axialen CT-Schnitten sowie den multiplanaren Rekonstruktionen als beweisend für



eine traumatische Aortendissektion angesehen werden kann (25, 103). Jedoch ist bei alleinigem Vorliegen indirekter Zeichen wie einem mediastinalen Hämatom Vorsicht geboten, wie auch Mirvis et al. in ihrer Analyse aufzeigen (58). Uffmann et al. sehen gerade in der fehlenden Invasivität und der kurzen Untersuchungszeit einen erheblichen Vorteil der Diagnostik der großen thorakalen Gefäße mittels Spiral-Computertomographie (98). Zur Beurteilung, ob das angewendete Untersuchungsprotokoll eine Angiographie in DSA-Technik weitgehend ersetzen kann, müssen weitere Erfahrungen mit der Methode gesammelt werden.

In der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten weist der Anteil von 70% unauffälligen computertomographischen Untersuchungen des Thorax schon auf ein wesentlich geringeres Gesamtverletzungsmuster hin. Hier lag bei 14 Patienten ein isoliertes Thoraxtrauma mit zum Teil erheblichen intrathorakalen Verletzungen vor.

Uneinheitliche Angaben bestehen in der Literatur zur Beurteilung des Informationsgewinns durch die Computertomographie für das weitere therapeutische Management. Hier gehen die Angaben über den Zugewinn an therapielevanten Diagnosen weit auseinander.

Karaaslan et al. sahen bei 30% ihrer Patienten zusätzliche Informationen zur Thoraxübersichtsaufnahme, die bei 12,7% zu einer Änderung des weiteren Vorgehens führten (37). Es wurden jedoch nur Patienten mit schwerem SHT untersucht. Trupka et al. beschreiben einen wesentlichen Informationszugewinn bei 65% der von ihnen untersuchten Patienten. Bei 41% der Patienten wurde aufgrund dieser Informationen eine therapeutische Konsequenz abgeleitet (95). In der Studie sind gezielt Patienten mit Verdacht auf ein Thoraxtrauma aufgenommen worden. Als therapeutische Konsequenzen wurden auch Maßnahmen im weiteren Verlauf nach der Schockraumphase erfasst. Trupka et al. empfehlen deswegen die Erweiterung der Schockraumdiagnostik bei entsprechendem Unfallmechanismus, hochgradig klinischem Verdacht und auffälliger Thoraxübersichtsaufnahme um eine Computertomographie des Thorax, wenn der Patient kreislaufstabil ist. Kunisch-Hoppe et al. sehen in ihrer Studie einen Mehrgehalt therapierelevanter Befunde nach der Computertomographie von 38% (47). Hier wird ebenfalls ein selektioniertes Patientengut untersucht, und es finden therapeutische Maßnahmen im weiteren intensivmedizinischen Verlauf Berücksichtigung. Grieser et al. verzeichnen einen relevanten Zugewinn an Informationen durch die Computertomographie des Thorax

in 26,5% der Fälle (26). Hier wurden jedoch nur therapeutische Konsequenzen im Rahmen des Schockraummanagements berücksichtigt.

Die größte Schwierigkeit der vorliegenden Studie liegt in der retrospektiven Datenerfassung. So lässt sich zum Beispiel anhand der vorgefundenen Dokumentation (abgesehen von der Anlage von Thoraxdrainagen, den operativ versorgten Zwerchfellrupturen sowie der Versorgung der Aortendissektionen) der Anteil des direkten Einflusses der CT-Diagnosen auf die nachfolgenden therapeutischen Entscheidungen wie Beatmungsmodalitäten, Bronchoskopien und Regime der Stabilisierung von Extremitätenverletzungen nur indirekt vermuten, da die Entscheidungsfindung nicht prospektiv erfasst wurde. Hier sind weitere prospektive Untersuchungen notwendig.

Auch lässt sich nachträglich nicht sicher abschätzen, bei wie vielen Patienten aufgrund des klinischen Erscheinungsbildes und der Traumaanamnese eine Computertomographie des Thorax, wie von Uffmann et al. (98) empfohlen, vom Traumaleader veranlasst worden wäre. Dies ist insbesondere auch deswegen schwierig, da bewusst auf eine primäre Thoraxübersichtsaufnahme verzichtet wurde und somit nicht beurteilt werden kann, wie viele der Verletzungen und in welchem Ausmaß diese zu erkennen gewesen wären. Die in der Computertomographie gefundenen Diagnosen ließen sich nur mit dem weiteren klinischen Verlauf korrelieren.

Kritisch bleibt auch der Einwand vieler Autoren zu berücksichtigen, dass auf eine primäre Thoraxübersichtsaufnahme nicht verzichtet werden sollte (26, 27, 98). Die Bewertung der eigenen Daten führt zu dem Resultat, dass bei den genannten Voraussetzungen eine Thoraxaufnahme im Schockraum nicht zwingend erforderlich ist.

### **4.3 Abdomen**

Die diagnostische Überlegenheit der Computertomographie des Abdomens in der genaueren Erfassung des abdominellen Gesamtverletzungsmusters gegenüber der Sonographie ist von zahlreichen Autoren hervorgehoben worden (5, 6, 24, 91). In der Sonographie gelingt die Darstellung freier Flüssigkeit und die Beurteilung der einzelnen Organläsionen zwar mit einer hohen Spezifität von 96-100%, jedoch liegt

die Sensitivität mit 91,9%-92,8% deutlich niedriger (10, 55). Kretschmer et al. unterstreichen zudem die Untersucherabhängigkeit der Methode und der damit verbundenen Fehlerquelle bei mangelnder Übung und Erfahrung des Untersuchers (44). Somit eignet sich die Abdomensonographie zur Darstellung freier Flüssigkeit als Zeichen einer intraabdominellen Blutung sowie für einen ersten Überblick über eventuelle Organläsionen und damit zur Untermauerung einer unmittelbaren OP-Indikation (10). Richards et al. zeigen jedoch, dass für die Erfassung des Parenchymschadens der Leber nach stumpfem Trauma die Gesamtsensitivität nur bei 72% liegt. Erst nach Einteilung der Leberverletzungen nach den Richtlinien des Organ Injury Scaling Committee of the American Association for the Surgery of Trauma liegt die Sensitivität für höhergradige Verletzungen bei 98% (81). Zudem gelingt die sonomorphologische Differenzierung bei freier Flüssigkeit zwischen Blut, Ascites, Urin oder Galle nicht (44). Eine neuere Untersuchung von Stengel et al. weist in einer Metaanalyse zum notfallmäßigen Einsatz der Sonographie bei Verdacht auf stumpfes Bauchtrauma eine geringe Sensitivität für den Nachweis freier Flüssigkeit und die Aufdeckung von Organläsionen nach (92). Sie fordern auf dieser Grundlage die anderweitige Abklärung des Abdomens zum Beispiel mittels CT, da eine abdominelle Verletzung mittels Sonographie nicht sicher genug ausgeschlossen werden kann.

Kretschmer et al. fanden bei Patienten mit einem auffälligen Befund in der Sonographie in 30% der Fälle therapierelevante Zusatzbefunde in der Computertomographie des Oberbauches. Bei primär unauffälligem Sonographiebefund lag der Anteil der Fälle mit therapierelevanten Zusatzbefunden bei 7% (45).

Besteht beim polytraumatisierten Patienten keine unmittelbare OP-Indikation, so ist zur weiteren Therapieplanung eine zeiteffiziente und möglichst exakte Erfassung des Gesamtverletzungsmusters erforderlich. Hierfür bietet die Computertomographie die Möglichkeit, ein wesentlich exakteres Bild der Verletzungsausdehnung der parenchymatösen Organe, insbesondere von Milz, Leber und Nieren, wiederzugeben (4, 5, 6, 7, 44, 59, 60, 91).

Die prognostische Bedeutung bezüglich einer OP-Indikation darf jedoch nicht überschätzt werden (4, 7, 59, 60). Mehrere Untersuchungen haben gezeigt, dass das Ausmaß der Parenchymläsionen von Leber und Milz keine sichere

Entscheidungshilfe bei der Wahl zwischen konservativer und operativer Therapie bietet. Auch lässt sich bezüglich der zweizeitigen Milzruptur keine sichere Vorhersage treffen. Mirvis et al. betonen dies insbesondere für Verletzungen der Milz und empfehlen die Entscheidung für eine operatives oder konservatives Verfahren von der Kreislaufsituation der Patienten und den Laborwerten sowie weiteren bildgebenden Befunden im Verlauf abhängig zu machen (59). Sie sehen jedoch in der primären Bildgebung in der Computertomographie eine wesentliche Grundlage für das abwartende Management. Dies spiegelt sich auch in den insgesamt 59 Parenchymverletzungen von Leber und Milz in der hier untersuchten Gruppe der polytraumatisierten Patienten wieder. Der Anteil operationspflichtiger Läsionen von Leber und Milz lag bei 27% (n=16), ohne dass eine sichere Korrelation zwischen Verletzungsausmaß in der Bildgebung und erforderlichem operativen Eingriff bestand. Insgesamt wird hervorgehoben, dass der zunehmende Einsatz der Computertomographie wie auch der Sonographie im Verlauf zur Abklärung abdomineller Verletzungen die Entscheidung für ein zunehmend konservatives Management unterstützt (2, 91).

Eine mögliche Schwierigkeit in der Beurteilung der Milz wird in der inhomogenen Kontrastmittelaufnahme gesehen, wenn diese bei reduzierter Kreislaufzeit in einer arteriell betonten Kontrastmittelphase dargestellt wird (24).

So kam es bei einer Patientin zu einer zweizeitigen, OP-pflichtigen Milzruptur, ohne dass in der primären Computertomographie aufgrund einer inhomogenen Kontrastierung zu einer Parenchymläsion Stellung genommen werden konnte.

Nierenverletzungen treten in etwa 10% der Fälle nach stumpfem Bauchtrauma auf und bedürfen in der Regel keiner operativen Therapie (6, 44). Dies spiegeln auch die 8 nachgewiesenen Nierenkontusionen in der Gruppe der polytraumatisierten Patienten wieder, die in keinem Fall einer operativen Intervention bedurften. In einem Fall war jedoch neben dem Kontrastmittelextrasat in unmittelbarer Nachbarschaft zur Gefäßläsion insbesondere der entsprechende Perfusionsausfall des kaudalen Nierendrittels diagnostisch wegweisend für die Verletzung einer akzessorischen Nierenarterie. Zum Ausschluss einer Verletzung des Nierenbeckenkelchsystems sollten im Anschluss an die Computertomographie ggf. Abdomenübersichtsaufnahmen angefertigt werden. Kritisch bleibt hier jedoch anzumerken, dass keiner der hier untersuchten polytraumatisierten Patienten akut

oder im weiteren Verlauf eine Verletzung des Nierenbeckenkelchsystems aufwies und eine Bewährung dieses diagnostischen Vorgehens noch aussteht.

Eine bekannte Schwierigkeit der Computertomographie stellt der sichere Nachweis von Hohlorganverletzungen sowie Verletzungen des Mesenteriums dar (6, 16, 44). Nast-Kolb et al. beziffern in ihrer Studie den Anteil der übersehenen Verletzungen des Magen-Darm-Traktes und der Harnblase auf 39% (65). Becker et al. halten fest, dass die Computertomographie zwar eine sensitive Methode zur Aufdeckung von Läsionen des Magendarmtraktes ist, dass die CT-morphologischen Zeichen jedoch ausgesprochen subtil sein können (6). Fehlen in der Computertomographie direkte Zeichen einer Darm- oder Mesenterialläsion und finden sich lediglich diskretere, nicht sicher einzuordnende Veränderungen, so betonen Dowe et al., dass die CT-Befunde nicht alleiniges Kriterium für oder gegen ein operatives Vorgehen sein können. Ihrer Erfahrung nach können sich dahinter sowohl nicht operationspflichtige Verletzungen als auch schwere Läsionen verbergen (16). In unserer Untersuchung konnte in 5 Fällen der dringende Verdacht auf eine Hohlorganperforation gestellt werden. In allen Fällen lag der Läsion benachbart eine geringe Menge freier Luft vor. Diese Diagnosen entziehen sich der Sonographie und sind auch röntgenologisch bei minimalen Luftmengen nicht sicher nachweisbar (44). Dabei verschlechtern gerade diese Diagnosen bei zu später Erkennung Verlauf und Prognose der Patienten nachhaltig. Zwei weitere Hohlorganperforationen im Bereich der Kolons bzw. des Rektums ließen sich bei benachbarten Einblutungen und fehlender freier Luft in der Computertomographie nicht nachweisen. Der Patient mit der Kolonruptur war aufgrund progredienter freier Flüssigkeit bei einem Milzeinriss operationspflichtig geworden. Die Patientin mit der Rektumläsion erlitt eine Pfählungsverletzung des Beckenbodens, die unmittelbar im Anschluss an die Computertomographie operativ versorgt wurde.

Eine Gabe von oralem Kontrastmittel, die von verschiedenen Autoren angeregt wird, (6, 16, 65, 91) wird aus Zeitgründen im Unfallkrankenhaus Berlin nicht für vertretbar gehalten. Im Schockraum bedeutet dies eine zusätzliche Manipulation am Patienten und bei unmittelbarer Nachbarschaft der CT zum Schockraum besteht keine ausreichende Zeit zur Passage. Zudem geben Schmidt et al. zu bedenken, dass nach stumpfem Bauchtrauma die Darmmotilität verlangsamt ist und die Kontrastmittelpassage insgesamt länger dauert (88).

Die Schwierigkeit in der Beurteilung des Mesenteriums zeigen auch die beiden Fälle, in denen eine begleitende Verletzung des Mesokolon transversum nicht erkannt worden war und auch retrospektiv computertomographisch nicht zur Darstellung kam. Bei einem weiteren Patienten war der Verdacht auf eine mesenteriale aktive Blutung gestellt worden, die intraoperativ nicht bestätigt werden konnte, es lag lediglich noch ein mesenteriales Hämatom vor.

Ein weiterer Vorteil der kontrastmittelunterstützten Computertomographie ist die Darstellung der Gefäße und die Möglichkeit einer Beurteilung der Organdurchblutung. Ein Kontrastmittelextravasat kann somit als Zeichen einer aktiven Blutung gewertet werden. So konnten bei vier der polytraumatisierten Patienten Gefäßläsionen diagnostiziert werden. Des Weiteren gelang der Nachweis einer Milzläsion und dreier Nebennierenläsionen mit Zeichen einer aktiven Blutung. Shuman weist bei exakter Lokalisation einer Blutungsquelle in der CT auf den Vorteil einer Zeitersparnis durch gezieltes operatives Vorgehen hin (91). Zudem besteht so die Möglichkeit, eine angiographische Embolisation zu erwägen. Damit sieht er eine Möglichkeit der Indikationsstellung zur CT auch bei Patienten mit einer hämodynamisch kritischen Kreislagsituation. In einem weiter oben schon genannten Fall wurde bei computertomographischem Verdacht auf den Einriss einer akzessorischen Nierenarterie die Angiographie unter dem therapeutischen Ansatz einer möglichen Embolisation eingesetzt. Der Vorteil eines gezielten und damit zeiteffizienten operativen Vorgehens gerade bei Patienten mit kritischer Kreislagsituation wurde von den Unfallchirurgen des Unfallkrankenhauses Berlin mehrfach betont.

Levine et al. zeigen in ihrer Studie, dass bei einigen Patienten, bei denen in der Computertomographie freie intraabdominelle Flüssigkeit unterschiedlicher Mengen bei im Übrigen unauffälligem CT nachgewiesen wurde, eine Mesenterialverletzung und / oder eine Verletzung des Darms vorlag (48). Auch wenn der größte Anteil der Patienten insbesondere mit geringer freier Flüssigkeit konservativ behandelt werden konnten, sollten diese Patienten jedoch kritisch überwacht werden. Schmidt et al. gehen sogar soweit, dass sie in der Detektion freier Flüssigkeit ohne Nachweis einer Organverletzung eine Indikation zur Laparotomie sehen (88). Bei den 7 Patienten der hier vorliegenden Untersuchung mit freier Flüssigkeit ohne Vorliegen einer

intraabdominellen Verletzung wurde im weiteren Verlauf hingegen keine zusätzliche Diagnose erhoben.

Der große Prozentsatz der unauffälligen abdominellen Computertomographien in der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten unterstützt die These von Kretschmer, dass ein routinemäßiger Einsatz der Computertomographie des Abdomens unabhängig vom primären sonographischen Befund nur selten therapierelevante Zusatzinformationen ergibt (45). Auf der anderen Seite hat sich jedoch gezeigt, dass bei klinischem Verdacht auf ein stumpfes Bauchtrauma die Sonographie keine ausreichend verlässliche Methode zum Ausschluss einer abdominellen Verletzung ist (92). Shuman et al. unterstreichen zudem die Bedeutung eines möglichst sicheren Ausschlusses intraabdomineller oder retroperitonealer Verletzungen. Sie sehen einen Vorteil in der möglichen Verkürzung der stationären Überwachung eines Patienten (91).

Eine Verletzung des Pankreas wurde in keinem Fall diagnostiziert und es ergab sich auch aus dem weiteren Verlauf der Patienten kein Hinweis darauf, dass eine solche Verletzung übersehen worden war. Becker et al. weisen darauf hin, dass Läsionen des Pankreas unmittelbar nach dem Trauma nur diskret sind. Zur Einschätzung der Rolle der Computertomographie bei posttraumatischen Veränderungen des Pankreas liegen ihrer Meinung nach noch nicht genügend Daten vor (6).

Insgesamt bleibt kritisch anzumerken, dass sich aufgrund der retrospektiven Datenerhebung insbesondere bei abdominellen Verletzungen der Einfluß des CT-Befundes auf die getroffenen Therapieentscheidungen nur unzureichend ableiten lässt. Des Weiteren fehlt eine durchgängige Erfassung der sonographischen Erstbefunde und damit keine Möglichkeit der Korrelation mit einer anderen bildgebenden Methode.

#### **4.4 Becken**

Die diagnostische Überlegenheit der Computertomographie in der Darstellung der knöchernen Verletzungen des Beckenskeletts ist in der Literatur unbestritten (29, 30, 110). Zwar sind die Frakturen zum größten Teil auch auf den entsprechenden konventionellen Röntgenaufnahmen zu erkennen, hier bestehen jedoch immer wieder in der Beurteilung des hinteren Beckenrings sowie des hinteren Pfeilers und

des hinteren Pfannenrandes Unsicherheiten. Auch eine sichere Lagebestimmung verlagelter Fragmente gelingt nicht immer (17, 38, 78, 89). Young et al. bestätigen diese Auffassung, belegen aber gleichzeitig in ihrer Studie, dass eine korrekte Diagnose der Beckenfraktur alleine durch die Analyse der Beckenübersichtsaufnahme in 94% der Fälle gestellt werden konnte. Bei kreislaufinstabilen Patienten empfehlen sie deswegen eine Beckenübersichtsaufnahme und bei Frakturverdacht ergänzende Inlet- und Outletprojektionen. Der Einsatz der Computertomographie im Rahmen der Primärdiagnostik muss ihrer Meinung nach sorgfältig abgewogen werden (110). Anzumerken bleibt hier, dass sich insbesondere der von Young et al. bemängelte Zeitbedarf der computertomographischen Untersuchungen durch den Einsatz moderner Spiral-CT Geräte deutlich verringert hat. Kaulbach et al. sehen in der Beckenübersichtsaufnahme sowie Ala- und Obturatoraufnahmen eine erste Orientierungshilfe, fordern aber bei Vorliegen einer Acetabulumfraktur grundsätzlich eine CT-Untersuchung vor geplanter operativer Hüftgelenksrekonstruktion (38).

Eine komplexe, partiell instabile oder instabile Verletzung des Beckens wird zum überwiegenden Anteil bei polytraumatisierten Patienten nach Verkehrsunfällen oder Stürzen aus großer Höhe beobachtet (29). Bei diesen Verletzungen sind in bis zu 90% Begleitverletzungen zu erwarten (29). In einer Untersuchung von Patienten mit Verletzungen des Beckenrings von Pohlemann et al. lag der Anteil der polytraumatisierten Patienten bei 77%. Eine isolierte Beckenringverletzung ohne nennenswerte Begleitverletzungen lag nur bei 13% der Patienten vor (75). Unter Berücksichtigung der Gesamtverletzungsschwere ist eine zügige und zuverlässige Abklärung einer Beckenverletzung wie auch der Begleitverletzungen und Verletzungen anderer Körperregionen zur weiteren Therapieplanung notwendig. Hierfür bietet die Spiral-Computertomographie gute Voraussetzungen.

Verkehrsunfälle und Stürze aus größerer Höhe sind mit insgesamt 88% die beiden führenden Unfallmechanismen in der vorliegenden Untersuchung. 46% der polytraumatisierten Patienten (n=52) zogen sich eine Verletzung des Beckenrings zu. In 28% der Fällen (n=32) handelte es sich hierbei um eine Verletzung mit Beteiligung des vorderen und hinteren Beckenrings. In der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten lag der Anteil der komplexen Beckenfrakturen mit 6% (n=13) deutlich niedriger.



Neben der Abklärung der knöchernen Verletzungen ist in der Computertomographie auch die Beurteilung der begleitenden Weichteil- und Organverletzungen möglich (29, 30, 75). Heller et al. heben hervor, dass die Computertomographie die Möglichkeit bietet, die verschiedensten Verletzungen des Beckens sowohl in bezug auf knöcherne und ligamentäre Strukturen als auch in Hinblick auf Weichteil- und Organverletzungen in einem einzigen Untersuchungsgang mit großer Aussagekraft abzuklären (30). Einen weiteren Vorteil der Computertomographie bietet die multiplanare Rekonstruktion. So kann ein Befund in seiner räumlichen Ausdehnung in verschiedenen Ebenen deutlich gemacht werden. Bei der komplexen räumlichen Struktur des Beckens kann dies eine wertvolle Hilfe sein (78, 89).

In der hier vorgestellten Untersuchung wurden primär die intraabdominellen und retroperitonealen Strukturen und die Strukturen des kleinen Beckens im sogenannten Weichteilfenster beurteilt. Anschließend erfolgte die Durchsicht im Knochenfenster mit der Beurteilung eventueller Verletzungen des Skelettsystems. Es erfolgte also keine primäre Datenerfassung im HR-Modus. Im Vergleich zu Empfehlungen aus der Literatur insbesondere zur Abklärung der Sakro-Iliakal-Gelenke und des Acetabulums liegt die Schichtdicke von 7 mm über den sonst angegebenen Werten von 2 mm (78). Im weiteren Verlauf wurden jedoch keine zusätzlichen Diagnosen erhoben, so dass davon ausgegangen werden kann, dass alle therapielevanten Befunde erhoben wurden. Im Vergleich mit einer primär im HR-Modus untersuchten Acetabulumfraktur ist kritisch anzumerken, dass ein deutlicher optischer Qualitätsverlust in der Bildbetrachtung besteht. Prinzipiell lässt sich dies durch die Möglichkeit der Nachberechnung in einem anderen Filtermodus aus den Rohdaten ausgleichen.

#### **4.5 Wirbelsäule**

Die diagnostische Überlegenheit der Computertomographie in der Aufdeckung von Wirbelsäulenverletzungen ist in zahlreichen Studien belegt worden (1, 11, 49, 56, 108, 109). Als primäre Screening-Methode wird in der Regel die Darstellung der gesamten Wirbelsäule in der konventionellen Radiologie als ausreichend angesehen. Eine Abklärung in der Computertomographie wird bei Nachweis oder geäußertem Verdacht auf eine Verletzung gefordert (1, 19, 20, 56, 108, 109). Als weitere

Indikationsstellung zur Computertomographie wird die technisch nicht einwandfreie Darstellung auf den konventionellen Aufnahmen eines Wirbelsäulenabschnittes gesehen (109). Acheson et al. beziffern den Anteil der Frakturen im Bereich der Halswirbelsäule, die erst in der Computertomographie aufgedeckt wurden, auf 42%. Zum einen wurden hier Frakturen, die auf den konventionellen Aufnahmen in ihrer Ausdehnung nicht vollständig zur Darstellung kamen, gesehen, und zum anderen wurde eine Vielzahl nicht gesehener Frakturen angrenzender Wirbel aufgedeckt. Als ebenso wichtig wird in dieser Studie auch hervorgehoben, dass ein Anteil von 63% anhand der konventionellen Aufnahmen verdächtigter Frakturen mittels Computertomographie sicher ausgeschlossen werden konnte. Diesen hohen Anteil verdächtigter Frakturen führen Acheson et al. auf die problemlose Verfügbarkeit der CT zurück (1). In einer Studie von Borock et al. lag dieser Anteil mit 28% wesentlich niedriger. Der Anteil der erst in der CT aufgedeckten Frakturen lag hier bei 1,5% (11).

Im Rahmen der Diagnostik bei polytraumatisierten Patienten wird von einigen Autoren die routinemäßige Abklärung des craniocervikalen Überganges in der Computertomographie empfohlen (40, 49). Nunez et al. empfehlen bei polytraumatisierten Patienten die primäre Untersuchung der gesamten Halswirbelsäule mittels Spiral-CT, wenn bei diesen Patienten die Abklärung einer weiteren Körperregion mittels CT notwendig ist. Sie sehen darin gleichzeitig einen zeitlichen Vorteil. Bei anderen Patienten sollte die Computertomographie als gezielte Ergänzung zu den entsprechenden konventionellen Aufnahmen erfolgen (68, 69). Aufgrund übersehener Verletzungen in den konventionellen Aufnahmen der Halswirbelsäule fordern Woodring et al., dass die routinemäßige Abklärung der Halswirbelsäule mittels Computertomographie bei entsprechendem Trauma und klinisch nicht sicher beurteilbaren Patienten eine zunehmende Rolle spielen muss (109).

In dem hier vorgestellten Untersuchungsprotokoll erfolgt die routinemäßige Abklärung der HWS primär mittels Spiral-CT. Auch wenn der Prozentsatz der gefundenen Verletzungen bei 8,4% der Patienten (n=28, mit insgesamt 37 Verletzungen) verhältnismäßig niedrig erscheint, so ist jedoch auch der Vorteil zu bedenken, dass bei den übrigen Patienten eine Fraktur sicher ausgeschlossen werden konnte. Im Rahmen der hier vorliegenden Studie entfällt der Anteil an CT-

Untersuchungen, die aufgrund eines Frakturverdachtes oder einer technisch mangelhaften Abbildung in der konventionellen Aufnahme nachträglich durchgeführt werden und somit in der Regel ein erneutes Umlagern des Patienten erfordern. Der überwiegende Anteil der Frakturen der Halswirbelsäule fand sich im Bereich des ersten und zweiten Halswirbelkörpers. Frakturen in diesem Bereich gehören zu den am häufigsten übersehenen Frakturen (69). Die übrigen Frakturen waren fast ausschließlich im Bereich des cervicothorakalen Überganges lokalisiert, einer Region, die häufig überlagerungsbedingt auf den konventionellen Aufnahmen nicht ausreichend beurteilbar ist (49, 69).

Bei der Betrachtung im Weichteilfenster können eventuelle Begleitverletzungen aufgedeckt werden (42). Unabdingbar ist die Anfertigung von Sekundärrekonstruktionen zum Ausschluss oder zur Dokumentation einer Subluxation oder Luxation (1, 42).

Eine Schädigung des Myelons ist in der Computertomographie nicht direkt nachweisbar, dies gelingt erst in der Kernspintomographie (42). Neben der direkten Darstellung des Myelons können damit auch Gefäßverletzungen erfasst werden (20). El-Khoury tendiert daher zunehmend zu einer präoperativen Abklärung der Halswirbelsäule mittels Kernspintomographie anstelle einer CT-Untersuchung (21). Aus der im Berliner Unfallkrankenhaus vertretenen Sichtweise spielt jedoch beim polytraumatisierten Patienten eine kernspintomographische Untersuchung der Wirbelsäule im Rahmen der Akutdiagnostik keine Rolle, sondern bleibt der erweiterten Diagnostik in der Subakutphase vorbehalten.

Die BWS und LWS werden in der hier vorgestellten Studie im Rahmen der Computertomographie des Thorax und des Abdomens bei der Durchsicht im Knochenfenster und der Anfertigung von Sekundärrekonstruktionen abgeklärt. Bei Verletzungen der BWS wurde beschrieben, dass diese häufig mit intrathorakalen Verletzungen einhergehen (9). Dies zeigt sich auch in der hier untersuchten Gruppe der polytraumatisierten Patienten, bei denen alle Frakturen der BWS mit intrathorakalen Verletzungen einhergingen. Bei 57% der LWS-Frakturen fanden sich auch intraabdominelle Verletzungen.

Eine Stabilitätsbeurteilung war bei allen Frakturen möglich; auch im weiteren Verlauf ergab sich keine Diagnoseerweiterung.

Der geringere Anteil von Wirbelsäulenverletzungen in der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten und die geringe Anzahl begleitender intrathorakaler (n=2) oder intraabdomineller (n=1) Verletzungen sind ein Zeichen der insgesamt geringeren Krafteinwirkung im Rahmen des Unfallgeschehens.

Trotz der hohen Treffsicherheit der Computertomographie für Wirbelsäulenverletzungen erscheint insbesondere im Bereich der HWS eine geringere Schichtdicke wünschenswert. Verbesserungen sind hier von der Einführung der Multislice-Computertomographie zu erwarten.

## 5 Zusammenfassung

Die Behandlung polytraumatisierter Patienten stellt in ihrer Komplexität hohe Anforderungen an die apparativen und personellen Voraussetzungen einer Klinik. Dies bedingt einen erheblichen Kostenaufwand sowohl für die primäre Diagnostik und Therapie als auch für die Rehabilitation.

Im Unfallkrankenhaus Berlin sieht der Algorithmus der Polytraumaversorgung nach klinischer Erstversorgung und sonographischer Untersuchung von Abdomen und Thorax die weitere primäre radiologische Diagnostik von Schädel, Halswirbelsäule, Thorax, Abdomen und Becken mittels Spiral-Computertomographie nach einem standardisiertem Untersuchungsprotokoll vor. Im Zeitraum von September 1997 bis Juli 1999 wurden 334 aufeinander folgende Patienten erfasst, bei denen unter dem Verdacht auf ein Polytrauma eine CT-Untersuchung im Rahmen des klinikinternen Algorithmus durchgeführt wurde. Unter Kenntnis aller Untersuchungsbefunde erfolgte die retrospektive Gruppenbildung mit Unterscheidung in polytraumatisierte (n=116) und nicht polytraumatisierte (n=220) Patienten. Der durchschnittliche ISS lag bei 32 (+/- 10) in der Gruppe der tatsächlich polytraumatisierten Patienten und bei 15 (+/- 9,4) in der Gruppe der nicht polytraumatisierten Patienten. In der weiteren Auswertung wurden die in der primären CT-Untersuchung erhobenen Diagnosen anhand des klinischen Verlaufs, operativer und anderer therapeutischer Maßnahmen sowie der weiteren Bildgebung überprüft.

Die Computertomographie ist den konventionellen bildgebenden Verfahren wie Röntgenübersichtsaufnahmen und der Sonographie in der Aufdeckung sowie im Ausschluss von Verletzungen im Bereich von Kopf, Wirbelsäule und Körperstamm überlegen. Mit einer einzigen Untersuchungsmethode lässt sich somit, abgesehen von den Extremitätenverletzungen, das gesamte Verletzungsmuster eines polytraumatisierten Patienten erfassen, ohne dass der Patient für einzelne Aufnahmen speziell gelagert werden muss. Lediglich die Arme sollten nach Möglichkeit für die Untersuchung von Thorax und Abdomen hochgelagert werden. Mit der Spiral-Computertomographie kann die Untersuchungszeit deutlich verkürzt werden, so dass unter zeitökonomischen Gesichtspunkten die Untersuchung auch auf Patienten mit kritischen Kreislagsituationen ausgedehnt werden kann. Als strukturelle Voraussetzung muss hierbei allerdings die unmittelbare Nachbarschaft

von Schockraum und CT-Untersuchungsraum gewährleistet sein. Zudem ist ein eingespieltes Team notwendig, um Umlagerungszeiten möglichst zu minimieren.

Bei der Frage nach der diagnostischen Sicherheit in bezug auf die einzelnen Körperregionen zeigte sich die hohe diagnostische Aussagekraft der Computertomographie, welche sich anhand der klinischen Verläufe bestätigte.

Im Bereich des Schädels und des Mittelgesichtes wurde je eine frontobasale Fraktur und eine Felsenbeinfraktur nicht primär diagnostiziert. Daraus resultierte eine Modifizierung des Untersuchungsprotokolls noch während des erfassten Zeitraumes, welche die Nachrekonstruktion der Schädelbasis im HR-Modus vorsieht. Bei 4 weiteren Patienten konnte eine intrakranielle Kontusions- bzw. Scherverletzung erst in der MRT-Untersuchung nachgewiesen werden.

Bis auf einzelne Rippenfrakturen wurden alle thorakalen Verletzungsfolgen vollständig erfasst. Insbesondere in bezug auf Verletzungen des Aortenbogens konnten die primär erhobenen Befunde als richtig positiv bzw. richtig negativ bestätigt werden.

Wie in der Literatur beschrieben zeigte sich auch anhand der hier untersuchten Patienten bei der Abklärung abdomineller Verletzungen insbesondere die Schwierigkeit in der sicheren Diagnose bzw. in dem sicheren Ausschluss von Hohlorganverletzungen sowie Verletzungen des Mesenteriums. Deshalb ist bei stumpfem Bauchtrauma eine engmaschige Nachuntersuchung der Patienten mittels Sonographie und eine Kontrolle der Laborparameter unerlässlich.

Im Bereich der Wirbelsäule und des knöchernen Beckens wurden alle Verletzungen vollständig erfasst.

Die Spiral-Computertomographie ist somit in der Lage, das Verletzungsmuster eines polytraumatisierten Patienten, abgesehen von Extremitätenverletzungen, nahezu vollständig und mit großer Sicherheit zeiteffizient zu erfassen. Die hier vorgestellte Untersuchung zeigt, dass von der Durchführung des standardisierten Untersuchungsprotokolls bei der Aufdeckung von Verletzungen insbesondere die tatsächlich polytraumatisierten Patienten profitieren. Der große Anteil der nicht polytraumatisierten Patienten profitiert hier vorwiegend vom Verletzungsausschluss. Hier muss die Indikationsstellung überaus kritisch erfolgen.

## 6 Literatur

1. Acheson MB, Livingston RR, Richardson ML, Stimac GK (1987): High-Resolution CT Scanning in the Evaluation of Cervical Spine Fractures: Comparison with Plain Film Examinations. *AJR* 148: 1179-1185
2. Bain IM, Kirby RM (1998): 10 year experience of splenic injury: an increasing place for conservative Management after blunt trauma. *Injury* 29: 177-182
3. Baldt MM, Bankier AA, Germann PS, Pöschel GP, Skrbensky GT, Herold CJ (1995): Complications after Emergency Tube Thoracostomy: Assessment with CT. *Radiology* 195: 539-543
4. Becker CD, Gal I, Baer HU, Vock P (1996): Blunt Hepatic Trauma in Adults: Correlation of CT Injury Grading with Outcome. *Radiology* 201: 215-220
5. Becker CD, Mentha G, Terrier F (1998): Blunt abdominal trauma in adults: role of CT in the diagnosis and management of visceral injuries. Part 1: Liver and spleen. *Eur. Radiol.* 8: 553-562
6. Becker CD, Mentha G, Schmidlin F, Terrier F (1998): Blunt abdominal trauma in adults: role of CT in the diagnosis and management of visceral injuries. Part 2: Gastrointestinal tract and retroperitoneal organs. *Eur. Radiol.* 8: 772-780
7. Becker CD, Spring P, Glättli A, Schweizer W (1994): Blunt Splenic Trauma in Adults: Can CT Findings be Used to Determine the Need for Surgery?. *AJR* 162: 343-347
8. Blacksin MF, Lee HJ (1995): Frequency and Significance of Fractures of the Upper Cervical Spine Detected by CT in Patients with Severe Neck Trauma. *AJR* 165: 1201-1204
9. Blauth M, Knop C, Bastian L, Krettek C, Lange U (1998): Komplexe Verletzungen der Wirbelsäule. *Orthopäde* 27: 17-31
10. Bode PJ, Niezen RA, van Vugt AB, Schipper J (1993): Abdominal Ultrasound As a Reliable Indicator for Conclusive Laparotomy In Blunt Abdominal Trauma. *J Trauma* 34: 27-31
11. Borock EC, Gabram SG, Jacobs LM, Murphy MA (1991): A prospective analysis of a two-year experience using computed tomography as an adjunct for cervical spine clearance. *J Trauma* 31: 1001-1005
12. Brandl T, Linsenmaier U, Rock C, Rieger J, Pfeifer KJ (1998): Möglichkeiten der CT-Diagnostik beim Polytrauma – Einsatz des RUSH-CT. *Fortschr. Röntgenstr.* 168: 162
13. Brown MA, Casola G, Sirin CB, Patel N, Hoyt DB (1999): Importance of Evaluating Organ Parenchyma during Screening Abdominal Ultrasound after Blunt Trauma. *Suppl to Radiology* 213: 192
14. Copes WS, Champion HR, Sacco WJ, Lawnick MM, Gann DS, Genarelli T MacKenzie E, Schwaitzberg S (1990): Progress in characterizing anatomic injury. *J Trauma* 30: 1200-1207
15. Danz B, Biehl C, Bahren W (1996): Akutdiagnostik therapierelevanter Thoraxverletzungen bei schwer- und polytraumatisierten Patienten. *Fortschr. Röntgenstr.* 164: 269-274
16. Dowe MF, Shanmuganathan K, Mirvis SE, Steiner RC, Cooper C (1997): CT Findings of Mesenteric Injury after Blunt Trauma: Implications for Surgical Intervention. *AJR* 168: 425-428
17. Draijer F, Egbers HJ, Zenker W, Havemann D (1993): Beckenfrakturen in der unfallchirurgischen Klinik Kiel. Eine Ein-Jahres-Bilanz. *Unfallchirurgie* 19: 339-345
18. Dublin AB, French BN, Rennick JM (1977): Computed Tomography in Head Trauma. *Radiology* 122: 365-369

19. Eggers C, Stahlenbrecher A (1998): Verletzungen der BWS und LWS. Unfallchirurg 101: 779-790
20. El-Khoury GY, Kathol MH, Daniel WW (1995): Imaging of Acute Injuries of the Cervical Spine: Value of Plain Radiography, CT and MR Imaging. AJR 164: 43-50
21. El-Kouhry (1996): Invited Commentary. RadioGraphics 16: 1318-1319
22. Enderson BL, Maull KI (1991): Missed Injuries: The Trauma Surgeon's Nemesis. Surg Clin North Am 71: 399-417
23. Ertel W, Trentz O (1997): Neue diagnostische Strategien beim Polytrauma. Der Chirurg 68: 1071-1075
24. Fishman EK (1996): Spiral CT: Applications in the Emergency Patient. RadioGraphics 16: 943-948
25. Gavant ML, Flick P, Menke P, Gold RE (1996): CT Aortography of Thoracic Aortic Rupture. AJR 166: 955-961
26. Grieser T, Bühne KH, Häuser H, Bohndorf K (2001): Relevanz der Befunde von Thoraxröntgen und Thorax-CT im routinemäßigen Schockraumeinsatz bei 102 polytraumatisierten Patienten. Eine prospektive Studie. Fortschr. Röntgenstr. 173: 44-51
27. Häuser H, Bohndorf K (1998): Radiologisches Notfallmanagement polytraumatisierter Patienten. Radiologe 38: 637-644
28. Häuser H, Bohndorf K, Rüter A (1998): Der traumatologische Notfall im Schockraum: Analyse des Spektrums und des Zeitbedarfs der bildgebenden Diagnostik. Unfallchirurg 101: 129-136
29. Heller M, Blanke J, Draijer F, Brossmann J, Egbers HJ, Havemann D (1998): Beckenringverletzungen. Radiologe 38: 702-709
30. Heller M, Kötter D, Wenzel E (1980): Computertomographische Diagnostik des traumatisierten Beckens. Fortschr. Röntgenstr. 132: 386-391
31. Hirschelmann R, Jagenburg A, Ruchholtz S, Eich PD, Müller RD (1999): Beschleunigte Durchführung der Computertomographie des Thorax bei polytraumatisierten Schockraumpatienten. Fortschr. Röntgenstr. 170: 240
32. Hosten Norbert, Liebig T: Gesichtsschädel und Schädelbasis, Traumafolgen, in Mödder U (Hrsg): Computertomographie von Kopf und Wirbelsäule, Stuttgart 2000, 254-258
33. Jacobi V, Thalhammer A, Heinemann U, Bode F, Vogl TJ (1999): Diagnostische Effizienz von Thoraxübersichtsaufnahme und CT bei thoraxverletzten Patienten. Fortschr. Röntgenstr. 170: 55
34. Kalender WA: Spezielle Anwendung der CT, in Morneburg H (Hrsg.): Bildgebende Systeme für die medizinische Diagnostik, München 1995, 453
35. Kalender WA (1999): Grundlagen und Technik der Spiral-CT. Radiologe 39: 809-819
36. Kanz KG, Eitel F, Waldner H, Schweiberer L (1994): Entwicklung von klinischen Algorithmen für die Qualitätssicherung in der Polytraumaversorgung. Unfallchirurg 97: 303-307
37. Karaaslan T, Meuli R, Androux R, Duvoisin B, Hessler C, Schneyder P (1995): Traumatic Chest Lesions in Patients with Severe Head Trauma: A Comparative Study with Computed Tomography and Conventional Chest Roentgenograms. J Trauma 39: 1081-1086
38. Kaulbach C, Heller M, Triebel HJ, Spielmann RP, Richartz-Heller M (1989): Radiologische Diagnostik der Azetabulumfrakturen. Radiologe 29: 501-507



39. Keil P: Prinzipien der Röntgen-Computertomographie, in Morneburg H (Hrsg.): Bildgebende Systeme für die medizinische Diagnostik, München 1995, 109
40. Kirshenbaum KJ, Nadimpalli SR, Fantus R, Cavallino RP (1990): Unsuspected upper cervical spine fractures associated with significant head trauma: role of CT. *J Emerg Med* 8: 183-198
41. Klöppel R, Köhler M, Biesold M, Schreiter D, Josten C (1999): Komplexe bildgebende Diagnostik beim Polytrauma: Ein managementabhängiger Gruppenvergleich. *Fortschr. Röntgenstr.* 170: 55
42. Knapp R, zur Nedden D (1998): Wirbelsäulentrauma. *Radiologe* 38: 674-682
43. Köhler M, Klöppel R, Biesold M, Lieberenz S (1999): Parameterspezifische CT-Bildanalyse bei polytraumatisierten Patienten. *Fortschr. Röntgenstr.* 170: 240
44. Kretschmer KH, Häuser H (1998): Radiologische Diagnostik des abdominellen Traumas. *Radiologe* 38: 693-701
45. Kretschmer KH, Häuser H, Bohndorf K (1998): Führt ein routinemäßiges Oberbauch-CT im Schockraum im Vergleich zur Abdomensonographie bei Polytraumen zu einer Änderung des therapeutischen Vorgehens? *Fortschr. Röntgenstr.* 168: 162
46. Kretschmer KH, Häuser H, Bohndorf K (1998): Änderung des therapeutischen Vorgehens bei Polytraumen durch ein Thorax-CT im Schockraum im Vergleich zur Thoraxübersicht? *Fortschr. Röntgenstr.* 168: 163
47. Kunisch-Hoppe M, Bachmann G, Hoppe M, Weimar B, Bauer T, Zickmann B, Rau WS (1997): Computertomographische Quantifizierung pleuropulmonaler Läsionen beim schweren Thoraxtrauma. *Fortschr. Röntgenstr.* 167: 453-457
48. Levine CD, Patel UJ, Wachsberg RH, Simmons MZ, Baker SR, Cho KC (1995): CT in Patients with Blunt Abdominal Trauma: Clinical Significance of Intraperitoneal Fluid Detected on a Scan with Otherwise Normal Findings. *AJR* 164: 1381-1385
49. Link TM, Schuierer G, Hufendiek A, Peters PE (1994): HWS-Frakturen: Diagnostik beim polytraumatisierten Patienten. *Radiologe* 34: 721-727
50. Linsenmaier U, Rock C, Brandl T, Mangel E, Pfeifer KJ (1998): Neue Methode zur schnellen Ganzkörper-Spiral-CT bei polytraumatisierten Patienten (RUSH-CT). *Fortschr. Röntgenstr. (Suppl)* 168: 162
51. Liu M, Shoemaker WC, Kram HB, Harrier HD (1988): Design and prospective evaluation of an algorithm for penetrating truncal injuries. *Crit Care Med* 16: 1191-1198
52. Lobrano ME, Hanemann CW, Zayas VM, Blaudeau E (1999): Radiologist-performed Ultrasound for the Detection of Abdominal Trauma: Our 3-Year Experience. *Suppl to Radiology* 213: 192
53. Löw R, Düber C, Kreitner KF, Blum J, Rommens PM, Schweden F, Thelen M (2001): Radiologische Diagnostik polytraumatisierter Patienten: Management unter Verwendung der Ganzkörper-Spiral-Computertomographie. *Deutsches Ärzteblatt* 26: 1496-1501
54. Löw R, Düber C, Schweden F, Lehmann L, Blum J, Thelen M (1997): Ganzkörper-Spiral-CT zur Primärdiagnostik polytraumatisierter Patienten unter Notfallbedingungen. *Fortschr Röntgenstr* 166,5: 382-388
55. Lucciarini P, Öfner D, Weber F, Lungenschmid D (1993): Ultrasonography in the initial evaluation and follow-up of blunt abdominal injury. *Surgery* 114: 506-512
56. Lynch D, McManus F, Ennis JT (1986): Computed Tomography in Spinal Trauma. *Clinical Radiology* 37: 71-76

57. Metak G, Scherer MA, Dannöhl C (1994): Übersehene Verletzungen des Stütz- und Bewegungsapparats beim Polytrauma – eine retrospektive Studie. *Zentralbl Chir* 119: 88-94
58. Mirvis SE, Shanmuganathan K, Miller BH, White CS, Turney SZ (1996): Traumatic Aortic Injury: Diagnosis with Contrast-enhanced Thoracic CT – Five-year Experience at a Major Trauma Center. *Radiology* 200: 413-422
59. Mirvis SE, Whitley NO, Gens DR (1989): Blunt Splenic Trauma in Adults: CT-based Classification and Correlation with Prognosis and Treatment. *Radiology* 171: 33-39
60. Mirvis SE, Whitley NO, Vainwright JR, Gens DR (1989): Blunt Hepatic Trauma in Adults: CT-based Classification and Correlation with Prognosis and Treatment. *Radiology* 171: 27-32
61. Murray JG, Caoili E, Gruden JF, Evans SJ, Halvorsen RA, Mackersie RC (1996): Acute Rupture of the Diaphragm due to Blunt Trauma: Diagnostic Sensitivity and Specificity of CT. *AJR* 166: 1035-1039
62. Murray JG, Gean AD, Evans SJJ (1996): Imaging of Acute Head Injury. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI* 17: 185-205
63. Mutze S, Paris St, Laun R (2000): Posttraumatische Dissektion der Arteria renalis – bildgebende Diagnostik und interventionelle Therapie. *Fortschr. Röntgenstr.* 172: 717-718
64. Nast-Kolb (1997): Marknagelung beim Polytrauma. Für und Wider der Frühversorgung. *Unfallchirurg* 100: 80-84
65. Nast-Kolb D, Trupka A, Ruchholtz S, Schweiberer L (1998): Abdominaltrauma. *Unfallchirurg* 101: 82-91
66. Nast-Kolb D, Waydhas C, Kanz KG, Schweiberer L (1994): Algorithmus für das Schockraummanagement beim Polytrauma. *Unfallchirurg* 97: 292-302
67. Novelline RA, Rhea JT, Rao PM, Stuk JL (1999): Helical CT in Emergency Radiology. *Radiology* 213: 321-339
68. Nunez DB, Quencer RM (1998): The Role of Helical CT in the Assessment of Cervical Spine Injuries. *AJR* 171: 951-957
69. Nunez DB, Zuluaga A, Fuentes-Bernardo DA, Rivas LA, Becerra JL (1996): Cervical Spine Trauma: How much more do we learn by routinely using helical CT? *RadioGraphics* 16: 1307-1318
70. Obertacke U, Neudeck F, Wihs HJ, Schmit-Neuerburg KP (1997): Kostenanalyse der Primärversorgung und der intensivmedizinischen Behandlung polytraumatisierter Patienten. *Unfallchirurg* 100: 44-49
71. Oestern HJ, Kabus K (1997): Klassifikation Schwer- und Mehrfachverletzter – was hat sich bewährt?. *Chirurg* 68: 1059-1065
72. Oestern HJ, Regel G: Allgemeine Aspekte, in Tscherne H und Regel G (Hrsg): *Unfallchirurgie Traumamanagement*, Berlin 1997, 225-238
73. Paajanen H, Lahti P, Nordback I (1999): Sensitivity of transabdominal ultrasonography in detection of intraperitoneal fluid in humans. *Eur. Radiol.* 9: 1423-1425
74. Pickuth D, Heywang-Köbrunner SH, Spielmann RP (1999): Primärdiagnostik bei polytraumatisierten Patienten mit stumpfem Bauchtrauma: Sonographie oder Spiral-Computertomographie? *Fortschr. Röntgenstr.* 170: 55-56
75. Pohlemann T, Gänsslen A, Stief CH (1998): Komplexe Verletzungen des Beckens und Acetabulums. *Othopäde* 27: 32-44

76. Pohlemann T, Tscherne H, Baumgartel F, Egbers HJ, Euler E, Maurer F, Fell M, Mayr E, Qurini W, Schlickewei W, Weinberg A (1996): Beckenverletzungen: Epidemiologie, Therapie und Langzeitverlauf. Übersicht über die multizentrische Studie der Arbeitsgruppe Becken. *Unfallchirurg* 99: 160-167
77. Poole GV, Morgan DB, Cranston PE, Muakkassa FF, Griswold JA (1993): Computed tomography in the management of blunt thoracic trauma. *J Trauma* 35: 296-300
78. Prokop M: Radiologische Diagnostik, in Tscherne H und Regel G (Hrsg): *Unfallchirurgie: Becken und Acetabulum*, Berlin 1998, 77-83
79. Regel G, Lobenhoffer P, Lehmann U, Pape HC, Pohlemann T, Tscherne H (1993): Ergebnisse in der Behandlung Polytraumatisierter: Eine vergleichende Analyse von 3406 Fällen zwischen 1972 und 1991. *Unfallchirurg* 96: 350-362
80. Regel G, Schmidt U und Tscherne H: Allgemeine Aspekte, in Tscherne H und Regel G (Hrsg): *Unfallchirurgie Traumamanagement*, Berlin 1997, 3-13
81. Richards JR, McGahan JP, Pali MJ, Bohnen PA (1999): Sonographic Detection of Blunt Hepatic Trauma: Hemoperitoneum and Parenchymal Patterns of Injury. *J Trauma* 47: 1092-1097
82. Richter HP, Braun V (1993): Computertomographie und Schädel-Hirn-Trauma. *Unfallchirurg* 96: 576-581
83. Richter-Turtur M (1992): Wirbelsäulenverletzungen bei polytraumatisierten Patienten. *Langenbecks Arch Chir Suppl* 311-315
84. Ruchholtz S, Lewan U, Waydhas C, Nast-Kolb D, Erhard J (1997): Schockraummanagement bei schwerem Schädel-Hirn-Trauma. *Langenbecks Arch Chir Suppl II*: 970-974
85. Ruchholtz S, Nast-Kolb D, Waydhas C, Betz P, Schweiberer L (1994): Frühletalität beim Polytrauma. *Unfallchirurg* 97: 285-291
86. Ruchholtz S, Zintl B, Nast-Kolb D, Waydhas C, Schwender D, Pfeifer KJ, Schweiberer L (1997): Qualitätsmanagement der frühen klinischen Polytraumaversorgung. *Unfallchirurg* 100: 859-866
87. Schild HH, Strunk H, Weber W, Stoerkel S, Doll G, Hein K, Weitz M (1989): Pulmonary Contusion: CT vs plain radiograms. *J Comput Assist Tomogr* 13: 417-420
88. Schmidt U, Maull IK, Gould H, Frame S (1994): Die Wertigkeit der Computertomographie in der Diagnostik von Dünndarmverletzungen nach stumpfem Bauchtrauma. *Unfallchirurg* 97: 54-56
89. Schmitt R, Schindler G, Gay B, Brendl H, Riemenschneider J (1987): Computertomographische Diagnostik bei Acetabulumfrakturen. *Fortschr. Röntgenstr.* 146: 628-635
90. Shoemaker WC, Corley RD, Liu M, Kram HB, Harrier HD, Williams SW, Fleming AW (1988): Development and testing of a decision tree for blunt trauma. *Crit Care Med* 16: 1199-1208
91. Shuman WP (1997): CT of Blunt Abdominal Trauma in Adults. *Radiology* 205: 297-306
92. Stengel D, Bauwens K, Sehouli J, Porzsolt F, Rademacher G, Mutze S, Ekkernkamp A (2001): Systematic review and meta-analysis of emergency ultrasonography for blunt abdominal trauma. *Br J Surg* 88: 901-912
93. Thal ER, Meyer DN (1991): The Evaluation of Blunt Abdominal Trauma: Computed Tomography Scan, Lavage, or Sonography? *AdvSurg* 24: 201-228

94. Trentz O und Stocker R: Klinische Versorgung des Polytraumatisierten, in Rüter A (Hrsg): Unfallchirurgie, München (u.a.) 1995, 237-243
95. Trupka A, Kierse R, Waydhas C, Nast-Kolb D, Blahs U, Schweiberer L, Pfeifer KJ (1997): Schockraumdiagnostik beim Polytrauma: Wertigkeit der Thorax-CT. Unfallchirurg 100: 469-476
96. Tscherne H: Polytrauma und spezielle Verletzungen, in Tscherne H und Regel G (Hrsg): Unfallchirurgie Traumamanagement, Berlin 1997, 213
97. Turetschek K, Wunderbaldinger P, Zontsich T (1998): Trauma des Gesichtsschädels und der Schädelkalotte. Radiologe 38: 659-666
98. Uffmann M, Fuchs M, Herold CJ (1998): Radiologie des Thoraxtraumas. Radiologe 38: 683-692
99. Waydhas C, Kanz KG, Ruchholtz S, Nast-Kolb D (1997): Algorithmen in der Traumaversorgung. Unfallchirurg 100: 913-921
100. Weber C, Grzyska U, Steiner P, Maas R, Lehner E, Zeumer H, Bücheler E (1999): Klinische Relevanz der cranialen Computertomographie unter Notfallbedingungen. Fortschr. Röntgenstr. 170: 55
101. Welkerling H, Wening JV, Langendorff HU, Jungbluth KH (1991): Computergestützte Datenanalyse von Verletzungen des knöchernen Bewegungsapparates beim polytraumatisierten Patienten. Zent. bl. Chir. 116: 1263-1272
102. Wick M, Ekkernkamp A, Muhr G (1997): Epidemiologie des Polytraumas. Chirurg 68: 1053-1058
103. Wicky S, Capasso P, Meuli R, Fischer A, von Segesser L, Schnyder P (1998): Spiral CT aortography: an efficient technique for the diagnosis of traumatic aortic injury. Eur. Radiol. 8: 828-833
104. Wiesemann M, Brückmann H (1998): Bildgebende Diagnostik akuter Schädel-Hirn-Verletzungen. Radiologe 38: 645-658
105. William P, Shuman MD (1997): CT of Blunt Abdominal Trauma in Adults. Radiology 205: 297-306
106. Winnekendonk G, Zähringer M, Schellhammer F, Gossmann A, Fischbach R, Lackner K (1999): Spiral-Computertomographie der Halswirbelsäule bei Schädel-Hirn-Trauma – Eine Analyse des diagnostischen Nutzens. Fortschr. Röntgenstr. 170: 56
107. Wolfman NT, Myers WS, Glauser SJ, Meredith JW, Chen MY (1998): Validity of CT Classification on Management of Occult Pneumothorax: A prospective Study. AJR 171: 1317-1320
108. Woodring JH, Lee C (1992): The role and limitations of computed tomographic scanning in the evaluation of cervical trauma. J Trauma 33: 698-708
109. Woodring JH, Lee C (1993): Limitations of cervical radiography in the evaluation of acute cervical trauma. J Trauma 34: 32-39
110. Young JWR, Burgess AR, Brumback RJ (1986): Pelvic Fractures: Value of Plain Radiography in Early Assessment and Management. Radiology. 160: 445-451
111. Zimmermann RA, Bilaniuk LT, Gennarelli T, Bruce D, Dolinskas C, Uzzell B (1978): Cranial computed tomography in diagnosis and management of acute head trauma. AJR 131: 27-34

**Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, dass die vorliegende Arbeit von mir selbst und ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst wurde. Sie stellt auch in Teilen keine Kopie anderer Arbeiten dar und die benutzten Hilfsmittel sowie die Literatur sind vollständig angegeben.

Erfurt, 18.01.2002

**Stefanie Siegmann**

## LEBENS LAUF

Stefanie Siegmann, geb. Steckel	22.05.1968	Bonn
Abitur	Mai 1987	Bonn
Medizinstudium	10/86 – 09/89	Bochum
	10/89 – 05/95	Bonn
AiP	04/96 - 09/96	Gynäkologie, Bonn
	12/96 – 11/97	Chirurgie, Adenau
Assistenzärztin	08/98 – 03/00	Institut für Radiologie Unfallkrankenhaus Berlin
	Seit 04/00	Institut für bildgebende Diagnostik Helios-Klinikum Erfurt

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank für die gute Betreuung, die geduldige und stets hilfreiche Zusammenarbeit sowie die Überlassung des Themas gilt dem Chefarzt des Institutes für Radiologie des UKB Marzahn, Herrn PD Dr. med. Sven Mutze.

Herrn Dr. med. Dirk Stockheim danke ich für die Hilfe bei der Auswahl und Erstellung des Bildmaterials. Herrn Dr. med. Holger Arndt danke ich für jegliche Hilfe bei computertechnischen Problemen. Des Weiteren danke ich Frau Dr. med. Grit Rademacher, Herrn Dr. med. Dirk Stengel und Frau Dr. med. Anja Tittel für ihre kritischen Anmerkungen und allen anderen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Insbesondere gilt mein Dank meinem Mann, der mich stets unterstützt hat.